

**PLAN DE GESTIÓN PARA LOS PRINCIPALES SITIOS CRITICOS DE
ACCIDENTALIDAD EN LA CIUDAD DE TUNJA (ETAPA 1)**

ADRIAN CAMILO MOLINA RIVERA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN TRANSPORTE Y VÍAS
TUNJA
2018**

**PLAN DE GESTIÓN PARA LOS PRINCIPALES SITIOS CRITICOS DE
ACCIDENTALIDAD EN LA CIUDAD DE TUNJA (ETAPA 1)**

**ADRIAN CAMILO MOLINA RIVERA
COD.201221778**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero
en Transporte y Vías**

**Director.
Ing. Ph. D. FLOR ÁNGELA CERQUERA ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN TRANSPORTE Y VÍAS
TUNJA
2018**

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, DE LA
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, RESIDE EN
ELLA MISMA, POR TANTO NO RESPONDE POR LAS OPINIONES
EXPRESADAS EN ESTE DOCUMENTO “

SE AUTORIZA LA REPRODUCCION DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN

DEDICATORIA

Los éxitos, que fácil parecen desde afuera, que todo mundo te felicite por haber logrado un escalón más, pero que cada quien sabe muy bien como lo ha superado para llegar allí, esfuerzo al fin al cabo, que da sus frutos cuando se avanza los obstáculos de la vida, gotas de sudor que brotan de nuestros cuerpos día tras día por conseguir lo que queremos, equivocaciones que nos enseñan a afrontar la vida y quitarnos los miedos, riesgos que debemos tomar para conseguir los éxitos, un éxito catalogado ser un ingeniero.

Pero los éxitos no se logran solo con esfuerzos, también necesitamos de apoyo, motivación, amor, felicidad, paz y muchas otras cosas más que nos hacen fuertes, por ello quiero dedicarle este éxito primeramente a Dios, quien es el que nos acompaña siempre y que nos bendice cada día, a mis padres Wilson Molina Bueno y Ofelia Rivera Reyes por darme todo en la vida, por apoyarme y hacerme una mejor persona, a mis hermanos Miguel Ángel Molina, Sebastián David Molina, Héctor Iván Borda y Edwin Felipe Borda por darme sus palabras de aliento, acompañarme siempre en las buenas y las malas, a la mujer que quiero tanto, Angie Natalia Zamora por estar conmigo a pesar de las dificultades y hacerme feliz, a toda mi familia quienes son los que están para toda la vida y especialmente cuando se presentan algunos obstáculos, a mis amigos, Anderson Cuervo, Cristian Reyes, Cristian Alvarado, Yesenia Arenas, Elizabeth Porras y todos los demás que me faltan, que de una u otra forma, sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas, por último a todas aquellas personas que durante esta etapa universitaria estuvieron a mi lado apoyándome y logrando que este éxito se haga realidad.

Muchas gracias a todos, estoy muy orgulloso de tenerlos a mi lado.

Adrián Camilo Molina Rivera

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por su acompañamiento y apoyo en el direccionamiento del proyecto que me permitió crecer como profesional y me cualifica para formular propuestas innovadoras.

A la ingeniera Flor Ángela Cerquera Escobar, Ingeniera en transporte y vías con Doctorado en geografía directora de tesis y a la ingeniera Leidy Constanza López Mateus Ingeniera en transporte y vías, especialista en tránsito, diseño y seguridad vial, codirectora quienes con sus aportes académicos y su ayuda hicieron posible la culminación satisfactoria de este trabajo.

A la secretaria de tránsito y transporte de Tunja, a cargo del ingeniero Jhon Alexander Herrera, por su cooperación en la entrega de información relevante para el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	3
1. PRELIMINARES.....	4
1.1. JUSTIFICACIÓN	4
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES	6
2.1.1. Plan nacional de seguridad vial.	6
2.1.2. Plan municipal de seguridad vial de la ciudad de Tunja.....	7
2.2. SITUACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRANSITO.....	9
2.2.1. Situación actual de accidentes de tránsito en Colombia.	9
2.2.2. Situación actual de accidentes de tránsito en Tunja.	10
2.3. PLAN DE GESTION PARA LOS PRINCIPALES PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD.....	10
2.3.1. Métodos para el análisis de seguridad.....	11
2.3.2. Diagnóstico.	11
2.3.3. Medidas de mitigación.	12
2.4. ACCIDENTES DE TRÁNSITO	12
2.4.1. Gravedad	13
2.4.2. Clase de accidente.....	13
2.4.3. Otras características.	14
3. DISEÑO METODOLÓGICO	15
3.1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.1.1. Diagnóstico del problema.....	15
3.1.2. Identificación del problema.	16
3.1.3. Selección de medidas de mejoramiento.	16
3.2. FASE DE IMPLANTACIÓN DE PROGRAMAS.....	16

3.2.1.	Priorización de alternativas de solución y preparación de planos de diseño para los puntos críticos de accidentalidad.	17
4.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	18
4.1.	ASPECTOS GENERALES DE LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO	18
4.1.1.	Localización geográfica.....	18
4.1.2.	Características geométricas.....	19
4.1.3.	Inventario de señalización.....	23
4.1.4.	Semáforos.....	26
4.1.5.	Usos del suelo.	30
4.1.6.	Iluminación vial.....	30
4.2.	ANÁLISIS DE VOLÚMENES VEHICULARES	33
4.2.1.	Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 37 ^a	34
4.2.2.	Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 48.	37
4.2.3.	Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 53.	39
4.3.	ANÁLISIS DE VOLÚMENES PEATONALES.....	42
4.3.1.	Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 37 ^a	43
4.3.2.	Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 48.....	44
4.3.3.	Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 53.....	46
4.4.	ANÁLISIS DE VELOCIDADES.....	47
4.4.1.	Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 37 ^a	49
4.4.2.	Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 48.....	51
4.4.3.	Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 53.....	52
4.5.	ANÁLISIS DE OPERACIÓN.....	53
4.5.1.	Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 37 ^a	54
4.5.2.	Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 48.....	55
4.5.3.	Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 53.....	57
4.6.	ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD	59
4.6.1.	Tipos de accidente.....	60
4.6.2.	Evolución histórica de los accidentes de tránsito.....	67
4.6.3.	Caracterización de la accidentalidad.....	68
4.7.	ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO.....	73
4.7.1.	Modelación y programación semafórica de las intersecciones.	74
4.7.2.	Resultados de la modelación en Synchro Studio 9.....	75
5.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	77
5.1.1.	Diagnóstico de los problemas en las intersecciones en estudio.	78

6. PROPUESTA Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	81
6.1. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.....	81
6.2. SELECCIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.....	85
7. PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS DE SOLUCIÓN	90
7.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	92
7.1.1. Estimación de los beneficios de las medidas.....	92
7.1.2. Estimación de los costos de las medidas.....	96
7.1.3. Evaluación de la efectividad en función de los costos de las medidas de mitigación.....	97
7.2. EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LAS MEDIDAS	99
8. MEDIDAS A IMPLEMENTAR	102
8.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO	102
8.1.1. Revisión de operación de los semáforos.	102
8.1.2. Mejoras en la demarcación.	102
8.1.3. Señales de advertencia.....	103
8.1.4. Cercado peatonal.....	103
8.1.5. Prohibiciones de estacionamiento.....	103
8.1.6. Prohibición de giros.....	104
8.1.7. Islas Splitter.	104
8.2. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 37 ^a	105
8.2.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	105
8.2.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	106
8.3. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 48	107
8.3.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 48.....	107
8.3.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. Intersección de la avenida norte con calle 48.....	109

8.4. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 53 110

 8.4.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 53..... 110

 8.4.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. intersección de la avenida norte con calle 37^a. 112

9. CONCLUSIONES.....114

10. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA.....117

ANEXOS.....120

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Puntos críticos sobre la Avenida norte.....	8
Tabla 2. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	20
Tabla 3. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 48.	21
Tabla 4. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 53.	22
Tabla 5. Tipos de vehículos aforados en la toma de información.	34
Tabla 6. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a en la ciudad de Tunja.....	34
Tabla 7. Volumen vehicular en las vías aledañas de la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	36
Tabla 8. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	37
Tabla 9. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 53 en la ciudad de Tunja.....	40
Tabla 10. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a en la ciudad de Tunja.	43
Tabla 11. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a en la ciudad de Tunja.	44
Tabla 12. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	44
Tabla 13. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	45
Tabla 14. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	46
Tabla 15. Desviaciones estándar de velocidades instantáneas para determinar el Tamaño de la Muestra y Sentido.	48
Tabla 16. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.	49
Tabla 17. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.	49

Tabla 18. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 37 ^a	54
Tabla 19. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 48	56
Tabla 20. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 48	58
Tabla 21. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 37 ^a	69
Tabla 22. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 48.	70
Tabla 23. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 53.	71
Tabla 24. Criterios de nivel de servicio para intercesiones reguladas por semáforos, según el Manual de Capacidad de Carretera del 2010.	73
Tabla 25. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 37 ^a	75
Tabla 26. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 48.....	75
Tabla 27. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 53.....	76
Tabla 28. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 37 ..	78
Tabla 29. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 48. .	79
Tabla 30. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 53. .	79
Tabla 31. Comparación de medidas de mitigación.	83
Tabla 32. Lista de chequeo para la selección de medidas de mitigación. A corto plazo.	86
Tabla 33. Medidas seleccionadas mediante las listas de chequeo.....	87
Tabla 34. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 37 ^a . .	89
Tabla 35. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 48... .	89
Tabla 36. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 53... .	89
Tabla 37. Factores de reducción de las medidas de mitigación de accidentes	91
Tabla 38. Valor de la accidentalidad por renta per-cápita para Colombia. Año 2011.	93
Tabla 39. Valor ajustado de la accidentalidad por renta per-cápita para Colombia para el año 2017.....	94

Tabla 40. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a .	94
Tabla 41. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.	95
Tabla 42. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.	95
Tabla 43. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a .	96
Tabla 44. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.	97
Tabla 45. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.	97
Tabla 46. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a .	98
Tabla 47. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 48.	98
Tabla 48. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 53.	99
Tabla 49. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 37 ^a .	100
Tabla 50. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 48.	100
Tabla 51. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 51.	101
Tabla 52. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 37 ^a .	105
Tabla 53. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 48.	107
Tabla 54. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 53.	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de densidades de accidentes de tránsito con víctimas 2012-2014.	8
Figura 2. Localización de los puntos críticos de accidentalidad (etapa 1)	18
Figura 3. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	20
Figura 4. Intersección de la avenida norte con calle 48.	21
Figura 5. Intersección de la avenida norte con calle 53.	22
Figura 6. Señalización actual de la intersección de la Av. norte con calle 37 ^a	24
Figura 7. Señalización actual de la intersección de la Av. Norte con calle 48.	25
Figura 8. Señalización actual de la intersección de la Av. Norte con calle 53.	26
Figura 9. Fases semafóricas. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	27
Figura 10. Secuencia de las fases semafóricas y bloques. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	27
Figura 11. Fases semafóricas. Zona del barrio JJ. Camacho en la avenida norte.	28
Figura 12. Secuencia de las fases semafóricas. Zona del barrio JJ. Camacho en la avenida norte.	28
Figura 13. Fases semafóricas. Intersección de la avenida norte con calle 53.	29
Figura 14. Secuencia de las fases semafóricas. Intersección de la avenida norte con calle 53.....	29
Figura 15. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 37 ^a	31
Figura 16. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 48.	31
Figura 17. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 53.	32
Figura 18. Clasificación general de tipos de vehículos.	33
Figura 19. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a en la ciudad de Tunja.	35
Figura 20. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 37 ^a .	35
Figura 21. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	37

Figura 22. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	38
Figura 23. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 48 ...	38
Figura 24. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 48.	39
Figura 25. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 53 en la ciudad de Tunja.....	40
Figura 26. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 48 ...	41
Figura 27. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 53.	42
Figura 28. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a en la ciudad de Tunja.	43
Figura 29. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	45
Figura 30. Movimiento y volúmenes peatonales aforados al frente del centro comercial centro norte.	45
Figura 31. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.....	46
Figura 32. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	50
Figura 33. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 48.	51
Figura 34. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 48.	52
Figura 35. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 37 ^a	55
Figura 36. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 48.....	57
Figura 37. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 48.....	59
Figura 38. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	62
Figura 39. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 48.	63
Figura 40. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 53.	64
Figura 41. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	65
Figura 42. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.	65

Figura 43. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.	65
Figura 44. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	67
Figura 45. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 48.....	67
Figura 46. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 53.....	68
Figura 47. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37 ^a	107
Figura 48. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.	109
Figura 49. Mapa trazado de ruta 3 actual y modificada. Barrió JJ Camacho.	109
Figura 50. Mapa trazado de ruta 14 actual y modificada. Barrió JJ Camacho.	110
Figura 51. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.	112
Figura 52. Mapa trazado de ruta 14 actual y modificada. Barrió la granja.	112
Figura 53. Mapa trazado de ruta 16 actual y modificada. Barrió la granja.	113

INTRODUCCION

Los accidentes de tránsito han sido reconocidos como un grave problema a nivel mundial, donde los recursos en muchos casos son escasos y hay poco conocimiento en la estimación de los beneficios de la seguridad vial. Colombia no ha sido exenta de esta problemática, ya que los efectos económicos y sociales provocados por los accidentes de tránsito son altos y la mayoría de estos hechos se concentran en las zonas urbanas por la complejidad de movimientos, volúmenes y mayores oportunidades de conflictos con el crecimiento del parque automotor y poblacional.

Aunque varios estudios demuestran que el factor humano es el mayor contribuyente de los accidentes de tránsito, no se puede dejar de lado el factor infraestructura, ya que se ha comprobado que las medidas de mitigación aplicadas a los lugares con alta incidencia de accidentes, están relacionados con las mismas carreteras y la operación del tránsito, por lo cual estas han disminuido estos hechos de manera apreciable y a corto plazo en diferentes lugares del mundo.

Uno de los objetivos propuestos por el gobierno nacional, es lograr vías urbanas más seguras a través de la gestión de la infraestructura, objetivo que se lograra gracias a medidas de mitigación sobre los puntos críticos de accidentalidad identificados en cada zona urbana del país. Por ello la ciudad de Tunja ha pretendido unirse a esta causa, siguiendo los diferentes pasos como son la identificación de puntos críticos de accidentalidad, estudiar los problemas (diagnóstico) en cada punto, diseñar medidas adecuadas, estimar los efectos de la problemática, establecer prioridades y finalmente implementar las medidas de mitigación que darán lugar a la reducción de accidentes en estos puntos.

El plan de gestión para los puntos críticos de accidentalidad de la ciudad de Tunja, se planteó realizar en 3 etapas, de acuerdo a la prioridad de lugares establecidos por el plan de seguridad vial del municipio. La primera etapa comprende los puntos críticos con mayor trascendencia para la ciudad referente a la importancia de estos en la red vial y a la concentración de accidentalidad presentes en los años de registro. Como inicio de esta primera etapa se evaluaron las intersecciones de la Avenida norte con calle 37^a, Avenida norte con calle 48 y Avenida norte con calle 53 con el fin de realizar intervenciones oportunas que mitiguen los factores de riesgo.

1. PRELIMINARES

1.1. JUSTIFICACIÓN

El impacto de los accidentes de tránsito y sus consecuencias hacen necesario abordar esta problemática con políticas y acciones concretas, articuladas, integrales, medibles y controlables, ya que involucran la salud pública, la seguridad de los ciudadanos y la movilidad del país. En respuesta, la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja establece acciones encaminadas a una movilidad segura que permitan reducir el número de víctimas fatales por accidentes de tránsito en un 30% para el año 2021, estructuradas a partir de las líneas estratégicas del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021.

Aunado a lo anterior, dentro del plan de desarrollo municipal “Tunja en equipo 2016-2019” en el programa “Cultura ciudadana para la movilidad” como indicador se tiene disminuir la “Tasa de mortalidad: Accidentes con muertes / 100.000 habitantes”, de una línea base del 12,9 a un 10 respectivamente. Dentro de las acciones formuladas por la STT, se presenta la estructuración de un plan de gestión para la intervención de los sitios críticos de accidentalidad en el municipio, donde, las medidas a tomarse en cuanto a infraestructura, señalización, gestión del tránsito u otras, constituyen la mitigación inmediata de accidentes en los puntos intervenidos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Estructurar un plan de gestión para la intervención de tres sitios críticos de accidentalidad (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte y Av. Norte por Calle 53) de la ciudad de Tunja.

1.2.2. Objetivos específicos

- Adquirir y analizar la información de tipo primaria y secundaria obtenida por medio de la secretaria de Tránsito y transporte, que describe los siniestros viales ocurridos en la ciudad de Tunja.

- Realizar inspecciones de seguridad vial en los sitios críticos (Avenida Norte a la altura de las calles 37A, 48 y 53), identificados en el plan local de seguridad vial en la ciudad de Tunja.
- Ejecutar los análisis de tránsito necesarios para caracterizar el comportamiento de los diferentes tipos de usuarios.
- Establecer medidas de mitigación específicas para cada punto crítico de acuerdo con los patrones generales y las características de operación e infraestructura vial del lugar.

2. MARCO TEÓRICO

Hoy por hoy el tema de seguridad vial ha venido tomando fuerza a nivel mundial debido a los traumatismos causados por el tránsito, ya que todos los años acaban con la vida de cerca de 1.25 millones de personas. De acuerdo al manual del conductor del ministerio de obras públicas y transporte de Costa Rica¹, define la seguridad vial como la “*disciplina que estudia y aplica las acciones y mecanismos tendientes a garantizar el buen funcionamiento de la circulación en la vía pública, previniendo los accidentes de tránsito*”. Gran parte de los accidentes de tránsito no pueden ser otorgados a una sola causa, en cambio son el conjunto de acciones e interacciones entre los elementos del tránsito, como menciona Carlos Kramer², los cuales son los usuarios, los vehículos, la infraestructura, el tráfico y el entorno de la carretera. La experiencia indica que realizando acciones simultáneamente en varios de estos elementos, pueden ser una estrategia muy efectiva para reducir los accidentes y en efecto generando un beneficio para la sociedad.

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Plan nacional de seguridad vial. Debido a la problemática de salud pública presentada por los accidentes de tránsito a nivel mundial, el gobierno colombiano definió como una prioridad y como una política de estado la seguridad vial, invitando a definir e implementar lineamientos con el único objetivo de reducir y/o mitigar el impacto de los accidentes de tránsito, por ello se concretó el plan nacional de seguridad vial 2011 – 2021³.

En el capítulo 4.4 del plan nacional de seguridad vial se desarrollan pilares estratégicos⁴, en los cuales se plantean diversos programas encaminados a acciones de una misma línea, al identificar actores de tránsito más vulnerables y factores contribuyentes asociados a los accidentes. Dentro de estos pilares estratégicos encontramos el pilar referente a la infraestructura vial⁵, considerando

¹ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE. Manual del conductor: manual oficial de educación y seguridad vial. Costa Rica, 2016. p. 6.

² KRAMER, Carlos *et al.* Ingeniería de carreteras: Vol.1. Madrid McGraw-hill / interamericana de España, 2003. p.568.

³ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Plan nacional de seguridad vial, Colombia 2011-2021. 2ª edición. 2015.

⁴ *Ibid.*, p. 61

⁵ *Ibid.*, p. 102

como una medida prioritaria la implementación de un sistema de gestión vial, permitiendo una evaluación de las condiciones de seguridad de la infraestructura para la movilidad motorizada y no motorizada.

El sistema de gestión vial⁶ es una herramienta que debería proveer información básica relacionada con inventarios viales, estado, velocidades, volúmenes de tránsito, indicadores de accidentes relacionados con el tránsito, puntos y tramos críticos, entre otros, que permitan formular un plan de acción preventivo, correctivo y rehabilitación de la infraestructura vial. Por ello esta herramienta permitirá a las entidades territoriales, comparar las alternativas para la identificación y selección de soluciones óptimas.

2.1.2. Plan municipal de seguridad vial de la ciudad de Tunja. Uno de los aspectos principales ante las reglamentaciones impuestas por el gobierno nacional, en busca de establecer, implementar, ejecutar medidas y acciones dirigidas para evitar la ocurrencia de accidentes viales, fue la integración de los principios rectores que rigen el plan nacional de seguridad vial. Ante la situación planteada, la alcaldía de la ciudad de Tunja, formulo el plan de seguridad vial para la ciudad, caracterizando la situación actual, diagnosis de los aspectos a mejorar e implementación de medidas necesarias.

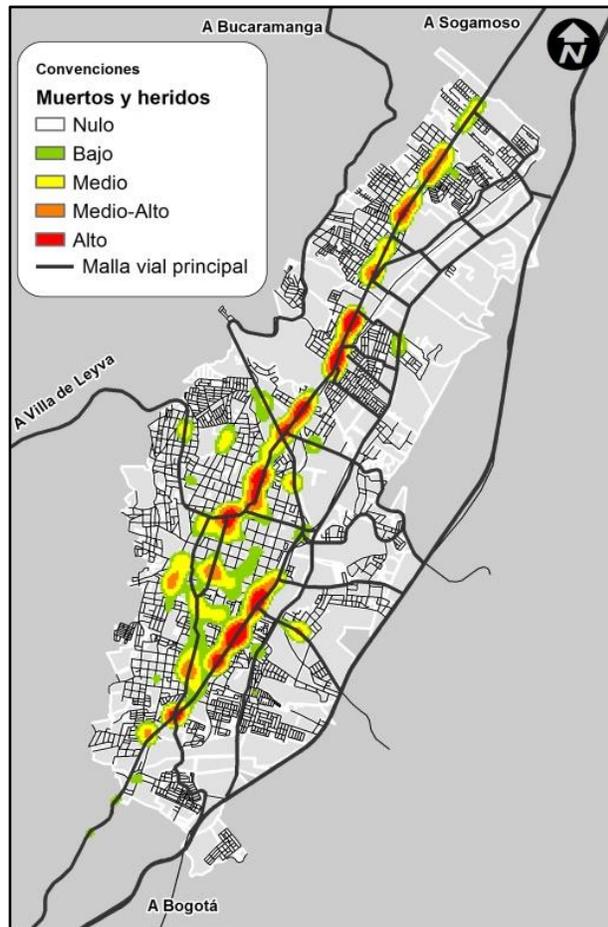
En lo contenido en el producto 3, referente a estudios y diagnósticos del plan local de seguridad vial⁷, El diagnóstico comprendió el análisis de tres aspectos diferentes, donde uno de ellos, presento el análisis de siniestralidad en el municipio, de acuerdo a información suministrada por la secretaria de tránsito y transporte (STT) y el instituto nacional de medicina legal y ciencias forenses. Teniendo en cuenta la georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en los tres años de registro (2012-2014), se realizaron análisis espaciales, determinando sectores críticos de acuerdo a las características de los accidentes.

Una mejor muestra para identificar zonas con alta concentración de accidentes, se representó en la figura 1 del mapa de densidades de accidentes de tránsito con víctimas 2012-2014.

⁶ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Plan nacional de seguridad vial, Colombia 2011-2021. 2ª edición. 2015.p. 108

⁷ ALCALDIA MAYOR DE TUNJA. Plan municipal de seguridad vial 2016-2021: estudios y diagnósticos del plan local de seguridad vial. Secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja. Versión 1. Tunja, 20 de agosto 2015. p. 11

Figura 1. Mapa de densidades de accidentes de tránsito con víctimas 2012-2014.



Fuente: Plan municipal de seguridad vial 2016-2021

De acuerdo al análisis se establecieron un total de 10 tramos críticos, donde la Avenida norte presentó el mayor número de registros con un total de 411 accidentes de tránsito y 6 puntos críticos sobre ella, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Puntos críticos sobre la Avenida norte

Nº	PUNTO CRÍTICO
1	Av. Norte - Glorieta
2	Av. Norte - Calle 37A
3	Av. Norte - Calle 48
4	Av. Norte - Calle 53
5	Av. Norte - Calle 64
6	Av. Norte - Calle 68

Fuente: Plan municipal de seguridad vial 2016-2021

En base a las consideraciones anteriores, el plan de seguridad vial presento los programas y acciones formuladas para cada una de las cinco líneas de estrategia de acción, en las que se contiene las estrategias concernientes a infraestructura vial como es la intervención de sitios críticos⁸. En este orden de ideas, una de las acciones a establecer dentro del programa de intervención de puntos críticos fue la creación de un plan para gestionar la intervención de estos puntos⁹, con el fin de fomentar la prevención y mitigación de los accidentes desde la concepción de los proyectos. Para esta acción se estableció una meta a mediano y largo plazo con periodos de revisión anual, dependiendo del porcentaje de puntos críticos intervenidos.

2.2. SITUACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRANSITO

Los accidentes de tránsito en la actualidad se han convertido en un grave problema a nivel mundial, debido a que la cantidad de accidentes que se presentan oscilan en 1,25 millones de personas que mueren cada año en el mundo como consecuencia de accidentes del tránsito, siendo la primera causa de muerte en personas entre los 15 y 29 años¹⁰, situación que ha puesto en alerta a las diferentes autoridades, gobiernos y ciudadanos.

A pesar de que esta cifra se ha venido estabilizando desde el año 2007 y se ha atacado mediante estrategias de seguridad vial, el ritmo de cambio es demasiado lento, por lo cual sigue siendo un problema salud pública que necesita principal atención.

2.2.1. Situación actual de accidentes de tránsito en Colombia. En Colombia, de acuerdo con la información preliminar del Observatorio Nacional de Seguridad Vial, se registraron 198.964 hechos de tránsito, de los cuales en el 44,1% se presentaron víctimas (fatales o no fatales). Esta cifra equivale a un registro de aproximadamente 14.762 accidentes por cada millón de vehículos registrados y un índice de severidad del 3.42%, superior al registrado en el 2015 que fue de 3.0%. Así mismo, preliminarmente entre enero y diciembre de 2016 los hechos de tránsito dejan un total de 6.806 fallecidos y 41.772 lesionados, cifras

⁸ ALCALDIA MAYOR DE TUNJA. Plan municipal de seguridad vial 2016-2021: formulación del plan y definición de medidas, estrategias y acciones a implementar. Secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja. Tunja, 25 de septiembre 2015. p. 84

⁹ Ibid., p. 85

¹⁰ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Informe de la situación mundial de la seguridad vial 2015. Suiza, 2015.

que reflejan un incremento del 7% (445) en los fallecidos y del 4,2% (1.684) en los lesionados en comparación con el mismo periodo de 2015. Dando lugar a una tasa de casi 14 fallecidos por cada cien mil habitantes y de 85 lesionados por cada cien mil habitantes.¹¹

2.2.2. Situación actual de accidentes de tránsito en Tunja. De acuerdo al observatorio nacional de seguridad vial, en el municipio de Tunja se han presentado un total de 845 accidentes de tránsito durante el año 2016, 115 accidentes más en comparación al año 2015. Dentro de los accidentes ocurridos en el año 2016, se observa que los usuarios con mayor número de fallecimientos son los peatones, con un total de 12 y 72 lesionados, seguidos de los motociclistas con 1 fallecimiento y 62 lesionados.

2.3. PLAN DE GESTION PARA LOS PRINCIPALES PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD

El problema de los accidentes es muy agudo en el transporte por carretera debido al patrón de flujo complejo del tránsito vehicular y la presencia de tráfico mixto junto con los peatones. El accidente de tránsito provoca la pérdida de vidas y bienes, por lo tanto, los ingenieros de tránsito tienen que asumir una gran responsabilidad de proporcionar movimientos seguros de tránsito a los usuarios de la carretera y garantizar su seguridad. Los accidentes de carretera no pueden evitarse totalmente, pero gracias a una ingeniería y gestión del tránsito adecuado, la tasa de accidentes puede reducirse hasta cierto punto. Por esta razón es necesario llevar a cabo un estudio sistemático de los accidentes de tránsito. Una investigación adecuada de la causa del accidente ayudará a proponer medidas preventivas en términos de diseño y control.¹²

Con la preocupación existente para reducir la accidentalidad en la red carretera, se ha motivado el desarrollo de métodos que permitan identificar y mejorar de una manera eficaz los sitios de alta incidencia de accidentes mejor conocidos como "Puntos Negros o Puntos Críticos". Estos sitios representan aquellos puntos de la red en los que el riesgo de ocurrencia de accidentes es superior al de otros sitios de características similares.¹³

¹¹ AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. Comportamiento de la siniestralidad vial en Colombia, 2016. Observatorio nacional de seguridad vial. 2016. p. 1.

¹² DR. TOM V. MATHEW, IIT BOMBAY. Transportation Systems Engineering: Accident Studies. 2014.

¹³ INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Una Metodología para el Tratamiento de Sitios de Alta Incidencia de Accidentes en Carreteras. Sanfandila, 2002.

2.3.1. Métodos para el análisis de seguridad. Durante las últimas dos décadas, las agencias viales han comenzado a reconocer los desafíos asociados a la seguridad vial, enfocándose a investigar lugares con alta incidencia de accidentes de tránsito, con el objetivo de incorporar la seguridad vial en todas las etapas de una carretera, gracias a herramientas, como lo son la identificación analítica y cuantitativa.¹⁴

Identificación cualitativa. A menudo se usan cuando no hay suficientes datos históricos disponibles o cuando una intersección se encuentra en la etapa de planificación o diseño. Una auditoría de seguridad vial es uno de los diagnósticos cualitativos. La auditoría en seguridad vial es un examen formal de desempeño de seguridad de una carretera existente, futura o intersección por un equipo de auditoría independiente.

Identificación cuantitativa. Se desarrollan de acuerdo a bases de datos de accidentalidad, y su objetivo principal es la identificación de las ubicaciones de la carretera que pueden beneficiarse con mejoras en la seguridad vial. Algunas suposiciones que se pueden dar gracias a la revisión de la base de datos, son atributos del diseño de carretera que a menudo juegan un papel contribuyente en la ocurrencia de accidentes de tránsito

2.3.2. Diagnóstico. En esta etapa generalmente se describe cómo estudiar los problemas, los factores que contribuyen a los accidentes y las deficiencias en seguridad vial para cada punto crítico identificado. El diagnóstico depende de diferentes criterios identificados en el lugar y depende de los valores, las mejoras a implementar y la relación costo-beneficio. El ingeniero de tránsito puede diagnosticar correctamente qué tipos de problemas de seguridad pueden estar presentes en un lugar. El diagnóstico de un problema de seguridad en particular puede conducir a medidas apropiadas. De acuerdo al “*Safety at Signalized Intersections*” el proceso de diagnóstico¹⁵ de problemas de seguridad vial en un sitio se realiza en cuatro pasos enunciados a continuación:

- Paso 1. Llevar a cabo la Revisión de Datos de accidentalidad
- Paso 2. Evaluar la documentación de respaldo.
- Paso 3. Evaluar las condiciones del campo.
- Paso 4. Defina la (s) declaración (es) del problema.

¹⁴ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: chapter 6 safety analysis methods . Second Edition. Washington D.C. July 2013. p. 3.

¹⁵ Ibid., p. 14.

2.3.3. Medidas de mitigación. La elección de la solución debe basarse en el diagnóstico (análisis de accidentes), cuando se ha identificado el punto crítico de accidentalidad, se ha determinado la ubicación exacta, se han analizado los accidentes y se ha descrito el problema, esta actividad puede ser usada para encontrar una medida de mitigación adecuada y obtener algunas ideas sobre los efectos de seguridad esperados.

El “*Safety at Signalized Intersections*” en su parte número 3¹⁶, enuncia algunas medidas que puedan disminuir la frecuencia o gravedad de los choques identificados con un patrón anormal (sobrerrepresentación). Las medidas hacen referencia a diferentes grupos de accidentes de tránsito que probablemente se vean afectados positivamente a través de la implementación de estas medidas.

Así mismo la “*Guide road safety*” en su parte 8¹⁷, propone medidas de acuerdo a las características de los accidentes, dando consejos prácticos para ayudar a las autoridades investigación, mediante la aplicación de soluciones de ingeniería efectivas, el número y la gravedad de los accidentes, los cuales se pueden reducir.

Por último el “*Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones*”¹⁸ de España, explica las soluciones aplicables a diferentes problemas identificados en un punto crítico de accidentalidad, describiendo de manera sencilla las soluciones adecuadas que permiten eliminar o reducir los conflictos detectados.

2.4. ACCIDENTES DE TRÁNSITO

De acuerdo al código nacional de tránsito¹⁹, un accidente está definido como un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en este. Los accidentes de tránsito pueden ser causados por diferentes factores como la infraestructura, comportamiento de los usuarios, estado del clima, entre otros, los cuales inciden directamente en la frecuencia de los siniestros, por esto en el

¹⁶ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: chapter 6

¹⁷ AUSTROADS INCORPORATED. Guide to Road Safety, Part 8: Treatment of Crash Locations. Sydney, Australia. January 2009.

¹⁸ INSTITUTO MAPFRE DE SEGURIDAD VIAL. Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones. Lorca, España.

¹⁹ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. Código nacional de tránsito terrestre: ley 769 de 2002.

campo de la ingeniería de tránsito se ha definido los accidentes como uno de los dos problemas de orden vital, ya que se ven comprometidas las vidas humanas. Los accidentes se pueden dividir en diferentes grupos en relación a sus características específicas, los cuales están contenidos en las bases de datos de accidentalidad de cada agencia o dependencia. Algunos de los datos más importantes de los accidentes de tránsito que se extraen para la gestión de un punto crítico de accidentalidad se definen a continuación:

2.4.1. Gravedad²⁰. Los accidentes de tránsito se clasifican dependiendo del tipo de daños causados en el accidente teniendo en cuenta la gravedad de los mismos y definida de la siguiente manera:

- **Muerte:** Es una lesión que ocasiona la muerte.
- **Herido grave:** Cualquier lesión, que no sea una lesión mortal, que impide que la persona lesionada camine, conduzca o realice normalmente las actividades que la persona era capaz de realizar antes de que ocurriera la lesión.
- **Herido leve:** Cualquier lesión, que no sea una lesión mortal o una incapacitante, que sea evidente para los observadores en la escena del choque en el que ocurrió la lesión.
- **Solo daños:** Daño a la propiedad solamente.

2.4.2. Clase de accidente²¹. El Informe Policial de Accidentes de Tránsito en Colombia, clasifica los accidentes según su tipo de la siguiente manera:

- **Atropellamiento:** Es el accidente donde un peatón es inicialmente impactado por un vehículo; esta clase de accidente es una de las más presentadas dentro del área urbana y la que registra el mayor índice de mortalidad con respecto a las otras clases de accidentes.
- **Volcamiento:** Es el accidente en el cual las llantas de un vehículo dejan de estar en contacto con la superficie del suelo, por causas ajenas a la voluntad del conductor. Algunos de los volcamientos son producto de la maniobra que realizan los conductores antes de iniciar una frenada.
- **Incendio:** Se produce como consecuencia de intervenciones mecánicas mal efectuadas, fallas eléctricas o mecánicas o similares, dando lugar a una conflagración o al incendio del vehículo, sin que ello sea consecuencia de un accidente previo.

²⁰ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diligenciamiento del informe policial de accidentes de tránsito. Bogotá, D.C., 2012. p 22.

²¹ Ibid., p. 14.

- **Choque:** El impacto de un vehículo en movimiento contra otro u otros vehículos, estén o no en movimiento o contra un objeto fijo.
- **Caída de ocupante:** Esta se presenta cuando el ocupante pierde el equilibrio, ya sea al subir o bajar del vehículo en movimiento, precipitándose hacia la vía, sin que ello sea generado por choque o volcamiento.
- **Otros:** Son los accidentes que no se enmarcan dentro de las clases descritas, tales como el evento en el cual, con la llanta de un vehículo es expulsada una piedra u objeto, generando daños a otros vehículos o lesiones a las personas y otras situaciones diferentes a las expuestas en la clasificación anterior.

2.4.3. Otras características. Otras de las características importantes en un plan de gestión para puntos críticos de accidentalidad de acuerdo al Safety at Signalized Intersections²² se enuncian a continuación:

- Dirección de viaje antes del choque.
- Partes involucradas (vehículo solo, peatón y vehículo, bicicleta y vehículo).
- Estado de la carretera en el momento del choque (seco, mojado, nevado, hielo).
- Condición de iluminación en el momento del choque (amanecer, luz del día, anochecer, luz oscura, oscuridad, sin iluminación).
- Condiciones climáticas en el momento del choque (claro, nublado, neblina, lluvia, nieve, hielo).
- Deficiencias de las partes involucradas (alcohol, drogas, fatiga).
- Si está disponible, los informes originales de la policía deberían usarse para recopilar comentarios anecdóticos escritos por oficiales de policía en la escena del accidente y relatos de primera mano de los accidentes de las partes involucradas y los testigos presenciales.

²² FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: chapter 6 safety analysis methods . Second Edition. Washington D.C. July 2013. p. 15.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Un plan de gestión para el tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes busca identificar los sitios con un inherente alto riesgo por accidentes, permitiendo identificar las opciones de mejoramiento para minimizar la problemática.

El plan de gestión para la intervención de los principales sitios críticos de accidentalidad, consta de 3 fases principales, las cuales son fase de identificación de los sitios, fase de investigación y fase de implantación de programas, sin embargo dentro de los productos del Plan local de seguridad vial elaborado para el municipio de Tunja, se realizó la fase de identificación de los sitios críticos de accidentalidad, mediante el diagnóstico de la siniestralidad vial en el Municipio, durante los últimos siete años (2008 – 2014), de acuerdo con la información obtenida de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Tunja (STT) y del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF), donde se estableció un total de diez (10) sectores críticos y veinticuatro (24) puntos críticos o intersecciones, seleccionados de acuerdo a la importancia de estos en la red vial y a la concentración de accidentalidad presentes en los años de registro.

Por lo anteriormente mencionado la metodología para el desarrollo del proyecto está comprendida en dos (2) fases, las cuales se describirán a continuación:

3.1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Esta fase contiene dos (2) etapas: la primera se refiere al diagnóstico de la problemática sobre los puntos críticos de la Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de centro norte) y Av. Norte por Calle 53, donde se realizó un estudio metódico de todos los datos de accidentes que han sido reportados y complementándolo con el análisis de la seguridad vial con actividades como criterios para la evaluación y análisis del punto crítico, visitas a campo, características geométricas, análisis del tránsito, operación, velocidad y accidentalidad; en la segunda etapa presentaron las propuestas y selección de medidas de mejoramiento de acuerdo con el diagnóstico e identificación.

3.1.1. Diagnóstico del problema. En esta etapa se desarrolló un diagnóstico y análisis de cada punto crítico, llegando a realizar un estudio metodológico de todos los accidentes que han ocurrido y agregar información que pueda servir para

mejorar la seguridad vial de los puntos críticos, por lo tanto se ejecutó las siguientes actividades:

- Visita preliminar al sector crítico con el propósito de inspeccionar (registro fotográfico) el comportamiento de los usuarios de la vía y registrar las características generales de ésta.
- Levantamientos topográficos
- Observación de los dispositivos de la intersección tales como condición de la iluminación, señalización vertical y horizontal existente, dispositivos para controlar el tránsito entre otros, con el objetivo de obtener variables de criterio que permitan establecer las posibles causas.
- Toma de información relacionada a aforos vehiculares y peatonales para evaluar las condiciones del tránsito en la intersección.
- Extracción de registros de accidentalidad para los puntos críticos identificadas los cuales se pueden analizar más a fondo.
- Elaboración de diagramas de Colisiones y Causas probables.

3.1.2. Identificación del problema. Una vez realizado el diagnóstico de la seguridad vial en los puntos críticos de la Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte por Calle 53, se procedió a identificar los problemas de seguridad y las causas probables de accidentalidad con base a la visita de campo, recolección de información, datos operacionales y geométricos, análisis de accidentalidad, encuesta de percepción a peatones y el diagrama de colisiones.

3.1.3. Selección de medidas de mejoramiento. En las etapas anteriores se identificó la problemática de los puntos críticos de accidentalidad, los cuales fueron tratados con medidas de ingeniería de tránsito. La elección de la medida se basó en el diagnóstico (análisis de accidentes). En relación con esto último, se analizó los accidentes y describió el problema, se utilizando diferentes fuentes de información para encontrar una medida adecuada y obteniendo algunas ideas sobre los efectos esperados de seguridad.

3.2. FASE DE IMPLANTACIÓN DE PROGRAMAS

En esta fase se buscó encontrar una jerarquizaron de los sitios para su tratamiento y se preparó los planos de diseño y todo lo relacionado con la propuesta para implementar la mejor medida de mitigación para cada punto.

3.2.1. Priorización de alternativas de solución y preparación de planos de diseño para los puntos críticos de accidentalidad.

La base para la priorización fue tener las estimaciones de los beneficios de las diferentes medidas propuestas. Por lo tanto, fue esencial hacer previsiones del resultado de accidentes y lesiones para una determinada medida. Estas previsiones se basaron en el conocimiento de los factores de reducción de las distintas medidas. Este conocimiento se construyó a partir de la investigación y el seguimiento de los resultados de los diferentes lugares donde las medidas se han aplicado. Esto se logró mediante el uso de la investigación y el desarrollo que se ha adelantado en otras ciudades y/o países adaptándolas a las condiciones específicas del punto crítico que se analizó y el comportamiento en el tráfico presente.

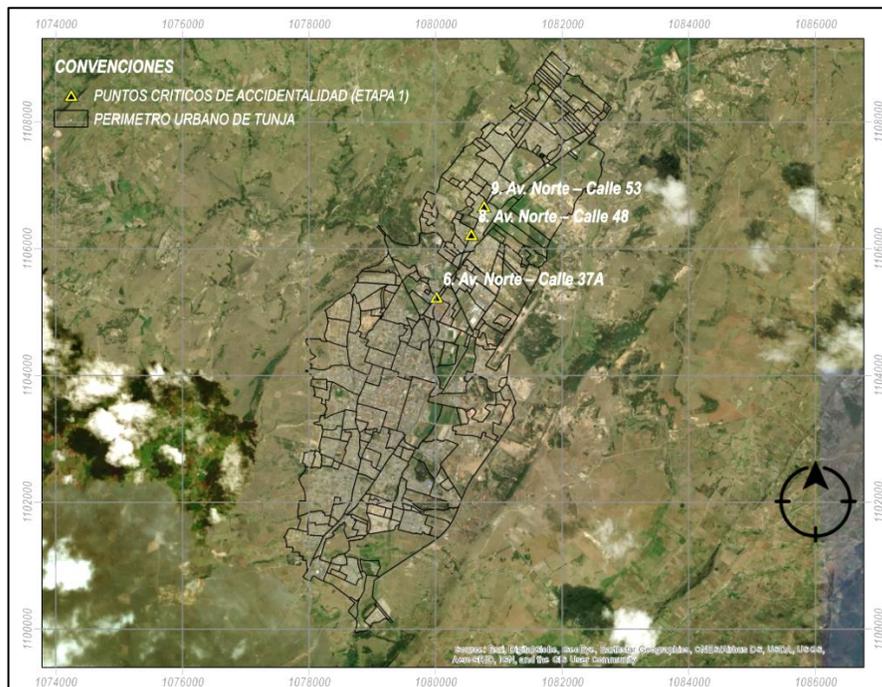
4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.1. ASPECTOS GENERALES DE LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO

4.1.1. Localización geográfica. Las intersecciones en estudio, están ubicadas en la ciudad de Tunja, capital del departamento de Boyacá, situado sobre la cordillera oriental de los Andes a 130 km al noreste de Bogotá, la cual tiene una extensión territorial de 121.4 km², de los cuales el 87% corresponde al área rural y el 13% al área urbana.²³

La figura 2 nos muestra la localización de las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte por Calle 53(sector la Toyota)) en la ciudad de Tunja.

Figura 2. Localización de los puntos críticos de accidentalidad (etapa 1)



Fuente: Elaboración propia mediante Arcgis 10.2.2.

²³ Colaboradores de Wikipedia. Tunja [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2017 [fecha de consulta: 13 de septiembre del 2017]. Disponible en <<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tunja&oldid=101529162>>.

4.1.2. Características geométricas. La geometría, tanto horizontal, como vertical de cada una de las intersecciones en estudio, fue registrada durante la visita a campo, utilizando una (1) unidad de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y un (1) Drone (vehículo aéreo no tripulado), con el propósito de observar el estado actual del diseño geométrico de las intersecciones. El registro, fue el resultado de recorrer las calzadas que componen las intersecciones por cada uno de sus bordes, quedando grabado en archivos electrónicos en la unidad GPS, con sus debidas coordenadas geográficas (longitud, latitud y altitud), de una serie de puntos registrados en periodos de dos (2) segundos. La secuencia de puntos registrados define los trazos horizontal y vertical de los bordes de los accesos de las intersecciones en estudio.

Seguidamente los archivos electrónicos generados por el GPS, fueron procesados mediante el sistema de información geográfica ArcMap 10.2.2, para transferir los trazos horizontales al sistema de coordenadas planas correspondientes a la proyección de tipo MAGNA_ciudad_Bogota. Finalmente los trazos horizontales de los bordes de las intersecciones fueron exportados a archivos AutoCAD, para caracterizar mejor su geometría.

Con el fin de observar un mayor detalle del diseño geométrico de las intersecciones y corroborar los datos obtenidos con el GPS, se tomaron varias imágenes aéreas a través del Drone. El procesamiento de las imágenes se realizó en el software Agisoft Photoscan, verificando la calidad de las imágenes adquiridas (a través de un reporte de traslape), georeferenciando las intersecciones.

4.1.2.1. Intersección de la avenida norte con calle 37^a. Una de las intersecciones seleccionadas para el estudio es la conformada por el cruce entre la avenida norte con la calle 37A, ubicada al norte del municipio de Tunja, en el barrio la glorieta, siendo una intersección de tipo a nivel, con cuatro accesos (norte, sur, este y oeste) y controlada por semáforos. La intersección se encuentra en una zona conformada por gran variedad de establecimientos comerciales, como lo son restaurantes, almacenes, suministros, bancos, entre otros. El paso peatonal por esta zona es constante debido a la cercanía que tiene con el centro comercial la sexta y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

El resultado del levantamiento del diseño geométrico de la intersección de la avenida norte con calle 37^a, se muestra a continuación, en la figura 3. Además La tabla 2 nos muestra las características más importantes de la intersección de la avenida norte con calle 37^a

Figura 3. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

Tabla 2. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 37^a.

CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCION					
TIPO DE TERRENO		plano			
NUMERO DE ACCESOS DE LA INTERSECCION		cuatro (4) (norte, sur, este y oeste)			
TIPO DE INTERSECCION		a nivel			
TIPO DE CRUCE		semaforizada			
CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS QUE CRUZAN LA INTERSECCION					
Avenida norte		Calle 37a (al este de la intersección)		Calle 37a (al oeste de la intersección)	
superficie de rodamiento	Pav. asfáltico	superficie de rodamiento	Pav. asfáltico	superficie de rodamiento	Pav. asfáltico
dirección de flujo	bidireccional	dirección de flujo	bidireccional	dirección de flujo	bidireccional
número de carriles	cuatro (4)	número de carriles	dos (2)	número de carriles	dos (2)
ancho de los carriles	3.65m	ancho de los carriles	3.90m	ancho de los carriles	3.80m
separador	si	separador	no	separador	no
estado de la calzada	bueno	estado de la calzada	regular	estado de la calzada	malo
pendiente máxima	2%	pendiente máxima	2%	pendiente máxima	2%

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Intersección de la avenida norte con calle 48. La segunda intersección seleccionada para el estudio es la conformada por el cruce entre la avenida norte con la calle 48, ubicada al norte del municipio de Tunja, en el barrio José Joaquín Camacho. La figura 4 y la tabla 3 nos muestra el resultado del levantamiento de la intersección de la avenida norte con calle 48.

Figura 4. Intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

Tabla 3. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 48.

CARACTERISTICAS DE LA INTERSECCION			
tipo de terreno		<i>montañoso</i>	
numero de accesos de la intersección		<i>tres (3) (norte, sur y oeste)</i>	
tipo de intersección		<i>a nivel</i>	
tipo de cruce		<i>semaforizada</i>	
CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS QUE CRUZAN LA INTERSECCION			
Avenida norte		Calle 48	
<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfaltico</i>	<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfaltico</i>
<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>	<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>
<i>número de carriles</i>	<i>cuatro (4)</i>	<i>número de carriles</i>	<i>dos (2)</i>
<i>ancho de los carriles</i>	<i>3.65m</i>	<i>ancho de los carriles</i>	<i>4.90m</i>
<i>separador</i>	<i>sí</i>	<i>separador</i>	<i>no</i>
<i>estado de la calzada</i>	<i>bueno</i>	<i>estado de la calzada</i>	<i>Regular</i>
<i>pendiente máxima</i>	<i>2%</i>	<i>pendiente máxima</i>	<i>17%</i>

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. Intersección de la avenida norte con calle 53. La ultima intersección seleccionada para el estudio es la conformada por el cruce entre la avenida norte con la calle 53, ubicada al norte del municipio de Tunja, en el barrio

la granja. La figura 5 y la tabla 4 nos muestra el resultado del levantamiento de la intersección de la avenida norte con calle 53

Figura 5. Intersección de la avenida norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

Tabla 4. Características geométricas de la intersección de la avenida norte con calle 53.

CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCION							
tipo de terreno				<i>plano</i>			
numero de accesos de la intersección				<i>cuatro (5) (norte, sur, este, oeste y noreste)</i>			
tipo de intersección				<i>a nivel</i>			
tipo de cruce				<i>semaforizada</i>			
CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS							
Avenida norte		carrera 2E		Calle 53 (al este de la intersección)		Calle 37a (al oeste de la intersección)	
<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfáltico</i>	<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfáltico</i>	<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfáltico</i>	<i>superficie de rodamiento</i>	<i>Pav. asfáltico</i>
<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>	<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>	<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>	<i>dirección de flujo</i>	<i>bidireccional</i>
<i>número de carriles</i>	<i>cuatro (4)</i>	<i>número de carriles</i>	<i>dos (2)</i>	<i>número de carriles</i>	<i>dos (2)</i>	<i>número de carriles</i>	<i>dos (2)</i>
<i>ancho de los carriles</i>	<i>3.65m</i>	<i>ancho de los carriles</i>	<i>4.45m</i>	<i>ancho de los carriles</i>	<i>4.00m</i>	<i>ancho de los carriles</i>	<i>3.25m</i>
<i>separador</i>	<i>sí</i>	<i>separador</i>	<i>no</i>	<i>separador</i>	<i>no</i>	<i>separador</i>	<i>no</i>
<i>estado de la calzada</i>	<i>bueno</i>	<i>estado de la calzada</i>	<i>regular</i>	<i>estado de la calzada</i>	<i>regular</i>	<i>estado de la calzada</i>	<i>regular</i>
<i>pendiente máxima</i>	<i>2%</i>	<i>pendiente máxima</i>	<i>2%</i>	<i>pendiente máxima</i>	<i>2%</i>	<i>pendiente máxima</i>	<i>2%</i>

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Inventario de señalización. La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada con miras a garantizar su seguridad, fluidez, orden y comodidad. En efecto, a través de la señalización se indica a los actores del tránsito la forma correcta y segura de circular por las vías, evitar riesgos, facilitar la circulación y optimizar los tiempos de viaje.²⁴

Con referencia a lo anterior, se planteó realizar un inventario de señalización vial de las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte – Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), con el objetivo de evaluar los riesgos que pueden ser generados, por una mala señalización.

El inventario de señalización vial consistió, en registrar la información de las señales verticales y señales horizontales, mediante un (1) GPS y una (1) cinta métrica, al ir recorriendo las calzadas, de las intersecciones en estudio. Posteriormente esta información fue procesada mediante Arcgis 10.2.2, asignando el sistema de coordenadas correspondiente a la proyección de tipo MAGNA_ciudad_Bogota y luego exportado al software AutoCAD, con el fin de atribuir los detalles de las señales verticales y horizontales.

4.1.3.1. Intersección de la avenida norte con calle 37ª. Para esta intersección se encontró un total de 11 señales verticales en un radio de 100 metros, de tipo reglamentarias, preventivas e informativas, además de demarcaciones tipo líneas de carril, líneas de borde, cruce de cebra y símbolos de fecha. Las señales verticales se encuentran en general en buen estado y tienen buena distancia de visibilidad, mientras que las señales horizontales se encuentran en un estado generalmente malo, ya que algunos cruces de cebra no se ven por su gran deterioro.

Dadas las condiciones que anteceden, se puede observar que la señalización no es suficientemente clara para informar sobre los sentidos viales de las carreteras aledañas, además de los movimientos permitidos y prohibidos en la intersección, generando una desorientación para conductores que no concurren frecuentemente la zona.

En la figura 6 se muestra las señales encontradas para la intersección de la avenida norte con calle 37ª.

²⁴ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de señalización vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia. 2015. Pág. 35

Figura 7. Señalización actual de la intersección de la Av. Norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

4.1.3.3. Intersección de la avenida norte con calle 53. En comparación de las tres (3) intersecciones en estudio, la intersección llamada coloquialmente “la Toyota” es la que presenta menor cantidad de señales verticales en un radio de 100 metros, solo observándose dos (2) señales de tipo reglamentaria sobre el separador central de la avenida norte. Las señales verticales se encuentran en buen estado con buena distancia de visibilidad.

En lo referente a señales horizontales se evidenciaron demarcaciones como líneas de carril, líneas de borde, cruce de cebra, cruce señalado por la señal de pare y símbolos de fecha en un estado bastante deteriorado, sin identificarse claramente los pasos peatonales. A pesar de existir el cruce señalado por señal de pare no se evidencio ninguna señal de pare, además los accesos este y oeste por la calle 53 no se encuentran semaforizados, ni con señalización vertical y horizontal.

En la figura 8 se muestra las señales encontradas para la intersección de la avenida norte con calle 48.

Figura 8. Señalización actual de la intersección de la Av. Norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

En los anexos D1, D2 y D3 se presentan el estado actual de las señales más cercanas a las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)).

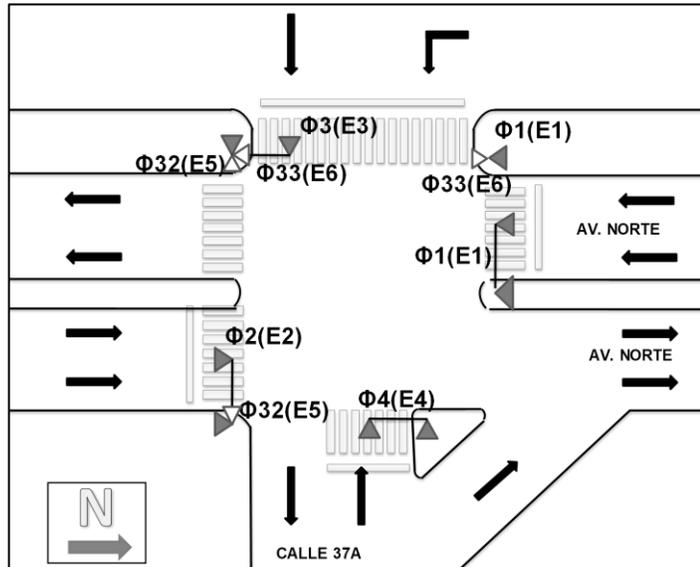
4.1.4. Semáforos. Los semáforos son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos motorizados, bicicletas y/o peatones en las vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad electrónica de control.²⁵ Para el caso de Tunja, el servicio de semaforización está a cargo del concesionario “*Unión temporal ciudad de Tunja alumbrado público*”, a quienes se le solicitó información relacionada con las fases semafóricas de la intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), con el único fin de observar el control de los volúmenes vehiculares y peatonales en estas zonas, debido a que las tres intersecciones están reguladas por semáforos.

4.1.4.1. Intersección de la avenida norte con calle 37ª. La intersección está controlada por semáforos predeterminados, cambiando su ciclo semafórico respecto al bloque asignado durante diferentes horas del día. Cuatro de las fases

²⁵ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de señalización vial. 2015. Pág. 747

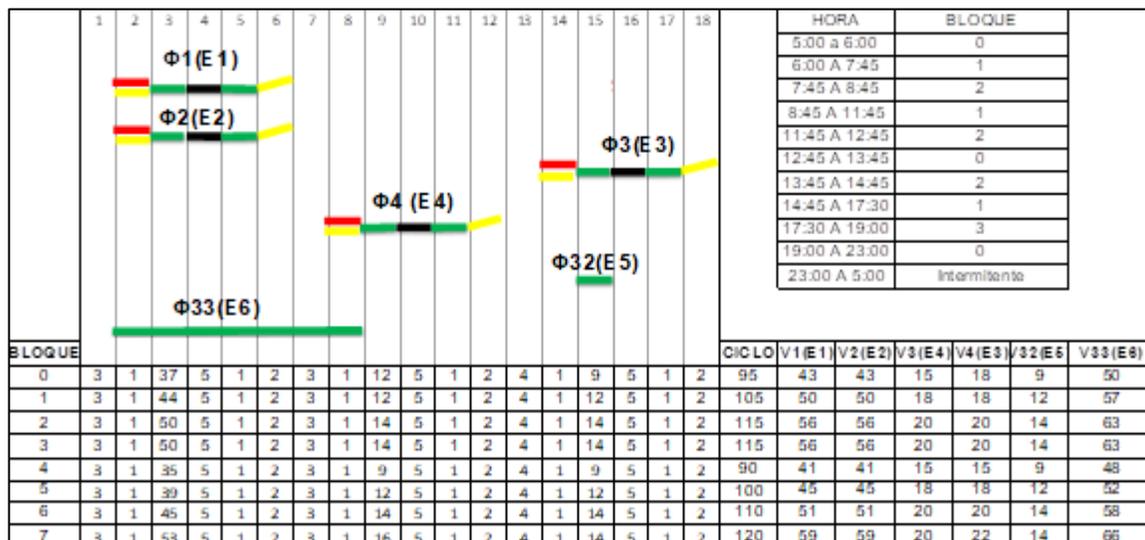
regulan el flujo vehicular en cada uno de los accesos de la intersección y dos fases el flujo peatonal. En la figura 9 y figura 10, se representa la ubicación y secuencia de cada una de las fases para la intersección de la avenida norte con calle 37ª.

Figura 9. Fases semafóricas. Intersección de la avenida norte con calle 37ª.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Secuencia de las fases semafóricas y bloques. Intersección de la avenida norte con calle 37ª.

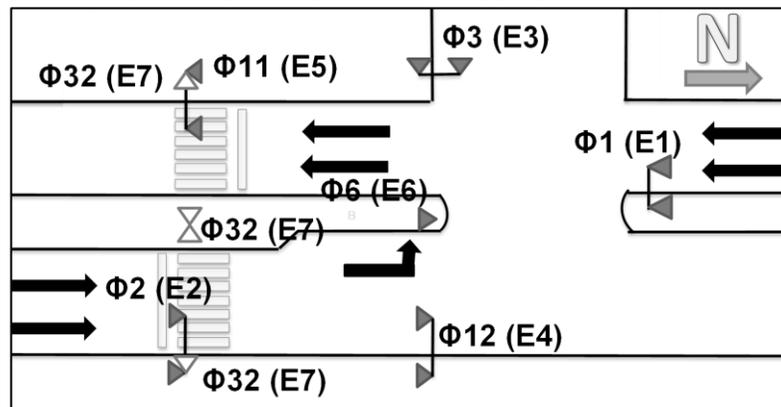


Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.2. Intersección de la avenida norte con calle 48. La segunda intersección en estudio está regulada por semáforos predeterminados, controlando el tránsito en dos zonas diferentes, las cuales son la intersección de la avenida norte con calle 48, solo controlando el flujo vehicular y la avenida norte con calle 47^a-35 el cual contiene una fase semafórica especialmente para los peatones, además de sus respectivas fases vehiculares.

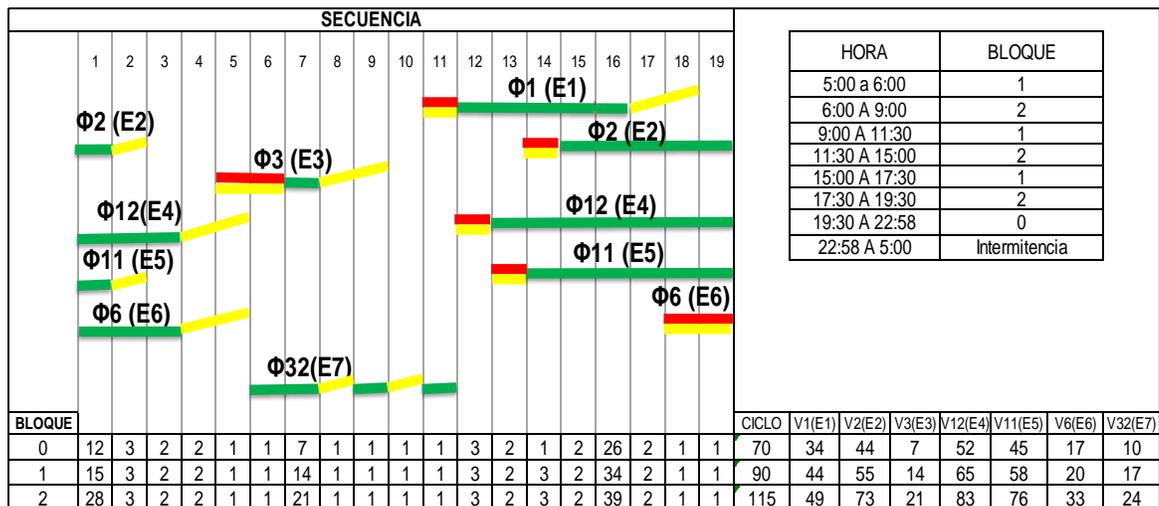
En la figura 11 y figura 12, se representa la ubicación y secuencia de cada una de las fases para la zona de barrio JJ. Camacho en la avenida norte.

Figura 11. Fases semafóricas. Zona del barrio JJ. Camacho en la avenida norte.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Secuencia de las fases semafóricas. Zona del barrio JJ. Camacho en la avenida norte.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Usos del suelo. Los usos de los suelos comprenden acciones, actividades e intervenciones que se realizarán sobre un determinado tipo de superficie, ya sea para producir, modificar o mantenerla²⁶. Para este caso de estudio fue importante revisar la jerarquía vial de las intersecciones de acuerdo al POT, conociendo la organización del escenario urbano, con el objetivo de identificar fácilmente las zonas industriales comerciales, residenciales entre otros. De acuerdo al mapa del uso del suelo urbano del plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja 2000-2009²⁷, las intersecciones en estudio se encuentran en espacio público sobre la Avenida norte, así como las calles de 37^a, 48 y 53.

4.1.5.1. Intersección de la avenida norte con calle 37^a. En lo contenido en el documento del valor del suelo del IGAC, esta intersección corresponde a la subzona 03-B-3²⁸, comercio sectorial, constituido en su mayor parte por edificaciones de uno a cuatro pisos de altura y destinación comercial.

4.1.5.2. Intersección de la avenida norte con calle 48. Esta intersección está ubicada en subzona 03-E-1²⁹, comercio sectorial, constituida en su mayor parte por edificaciones con altura de tres a cinco pisos, con destinación comercial.

4.1.5.3. Intersección de la avenida norte con calle 53. Por último esta intersección se encuentra en la subzona 03-F-5³⁰, comercio sectorial, conformada en su mayor parte por edificaciones con alturas máximas de cuatro pisos con destinación comercial.

4.1.6. Iluminación vial. La iluminación vial es un componente importante desde el punto de vista de la seguridad vial, ya que ayudan al conductor a identificar con mayor claridad las condiciones particulares de la vía. La iluminación vial debe ser tal que la superficie de rodadura se encuentre uniformemente iluminada, de modo que todos los vehículos, ciclistas, peatones y objetos sean vistos. Para el caso de Tunja el alumbrado público está a cargo de la “*Unión temporal ciudad de Tunja, alumbrado pública*” quien garantiza tanto su correcta operatividad, como la

²⁶ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Special Report on Land Use: Land-Use change and forestry. 1999.

²⁷ ALCALDIA MAYOR DE TUNJA. Plan de ordenamiento territorial 2000- 2009: Mapa de usos del suelo urbano. Mayo del 2001.

²⁸ INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Tunja, valor del suelo. Número 52 pp. 1-179, 2015, Bogotá, Colombia. ISSN. 0120-8551. p. 128.

²⁹ Ibid., p. 138.

³⁰ Ibid., p. 147.

adecuada preservación de todos los elementos tales como: postes, redes, luminarias y semáforos.

Con el objetivo de apreciar las condiciones de iluminación de las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), se realizaron visitas de campo en horas nocturnas. En la figura 15, figura 16 y figura 17 se aprecia las condiciones de iluminación de las intersecciones de la Avenida norte con calle 37^a, 48 y 53.

Figura 15. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 37^a.



Fuente: propia.

Figura 16. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 48.



Fuente propia.

Figura 17. Condiciones de la iluminación. Intersección de la Avenida Norte con calle 53.



Fuente propia.

En lo concerniente a la iluminación vial de las intersecciones en estudio, se evidencio que los postes de las luminarias de la avenida norte están ubicados sobre el separador central, mientras que las calles 37^a, 48 y 53 tienen ubicados sus postes al costado de la vía. Además se puede resaltar que el alumbrado público de la ciudad de Tunja se compone de lámparas de descarga eléctrica con bombillas de sodio.

Las intersecciones de la avenida norte con calle 37^a y 48 en general presentan un buen desempeño iluminación, donde se evidencia claramente los componentes de la zona.

En la intersección de la avenida norte con calle 53 (La Toyota) el acceso oeste presenta poca iluminación ya que a pesar de haber postes cerca al acceso, ningún poste contiene lámparas de iluminación, adicionalmente debido al gran espacio que tiene la intersección las luminarias no son suficientes para dar una iluminación clara de los componentes de la intersección, provocando un riesgo inminente en horas nocturnas y de flujo bajo de vehículos.

Hay que tener en cuenta que la iluminación para vías vehiculares en Colombia de acuerdo al reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) se clasifica en cinco grupos desde M5 (menos requerimientos lumínicos) hasta vías clase M1 (máximos requerimientos); esta clasificación se realiza de acuerdo a la función de la vía, flujo de vehículos, complejidad de la misma, separación entre las calzadas y sistemas de control de tráfico como semáforos y señales de tránsito.

4.2. ANÁLISIS DE VOLÚMENES VEHICULARES

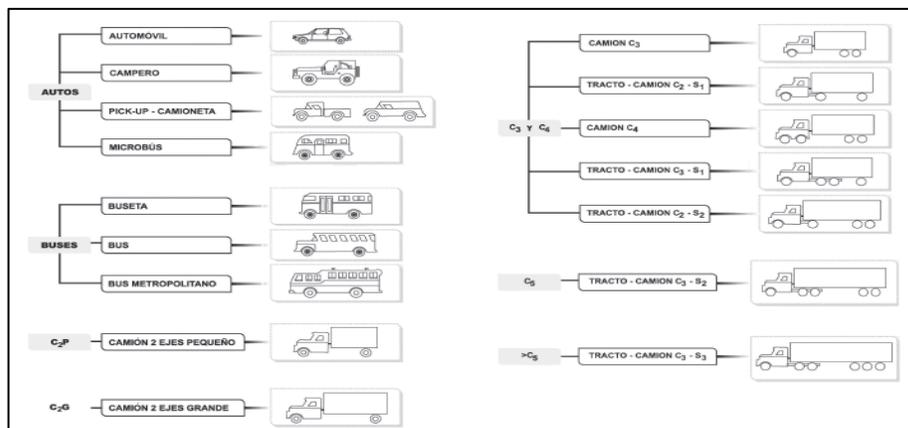
Una de las primeras tareas a desarrollar en este trabajo fue la recolección de datos que sirven como base para el diagnóstico y análisis de la problemática de accidentalidad en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), por ello se solicitó información relacionada con volúmenes vehiculares al observatorio de Movilidad de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, (grupo de investigación y desarrollo en operación del Tránsito ITyV-UPTC) con el fin de poder evaluar las condiciones del tránsito en aquellas intersecciones.

El análisis realizado a cada intersección consistió en hallar los siguientes parámetros operacionales:

- La hora más cargada durante la toma de información
- Composición del flujo vehicular
- Participación por movimiento

La información de campo que se registró por parte del observatorio de Movilidad, se clasificó de acuerdo con el tipo de vehículos (autos, buses, y camiones), en el caso de camiones se discrimina por número de ejes y en cada uno de los accesos. En la figura 18 se muestra la clasificación utilizada para la toma de información recomendada por el Ministerio de Transporte.

Figura 18. Clasificación general de tipos de vehículos.



Fuente: Instituto nacional de vías. Cartilla para conteos manuales de tránsito.

Para este caso también se tomaron los vehículos como motocicletas y bicicletas ya que son usuarios vulnerables en la carretera y presentan un porcentaje considerable en las intersecciones. La tabla 5 nos muestra las siglas utilizadas para cada uno de los tipos de vehículos tomados en la información de volumen vehicular.

Tabla 5. Tipos de vehículos aforados en la toma de información.

SIM	VEHICULO	SIM	VEHICULO
L	<i>Automóviles livianos</i>	C4	<i>Camiones cuatro ejes</i>
B	<i>Buses</i>	C5	<i>Camiones de cinco ejes</i>
C2P	<i>Camiones pequeño de dos ejes</i>	C6	<i>Camiones de seis o más ejes</i>
C2G	<i>Camiones grandes de dos ejes</i>	M	<i>Motos</i>
C3	<i>Camiones de tres ejes</i>	BI	<i>Bicicletas</i>

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 37^a.

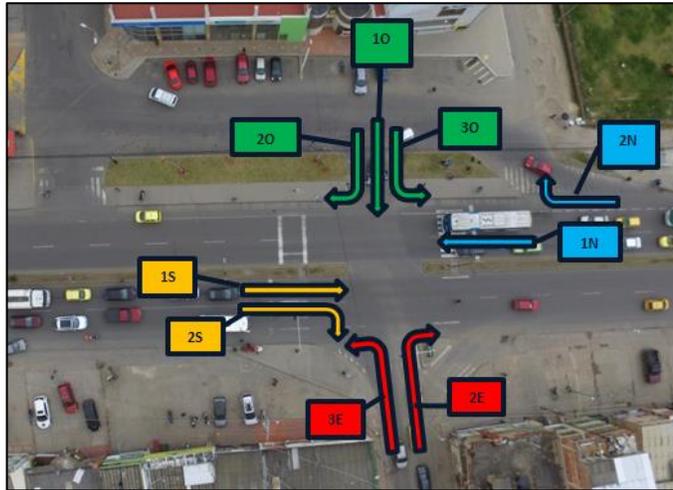
En la figura 19 y la tabla 6 se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37^a, información tomada por semillero de investigación de GIDOT (Grupo de Investigación y Desarrollo en Operación del Tránsito), donde se puede observar el comportamiento del tránsito durante 4 horas de toma de información (14:00 a 18:00).

Tabla 6. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37^a en la ciudad de Tunja.

N°	MOVIMIENTOS
	Acceso Norte
1N	<i>Directo (hacia el sur)</i>
2N	<i>Giro a la derecha (hacia el oeste)</i>
	Acceso Sur
1S	<i>Directo (hacia el norte)</i>
2S	<i>Giro a la derecha (hacia el este)</i>
	Acceso Este
2E	<i>Giro a la derecha (hacia el norte)</i>
3E	<i>Giro a la izquierda (hacia el sur)</i>
	Acceso Oeste
1O	<i>Directo (hacia el este)</i>
2O	<i>Giro a la derecha (hacia el sur)</i>
3O	<i>Giro a la izquierda (hacia el norte)</i>

Elaboración propia.

Figura 19. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37ª en la ciudad de Tunja.

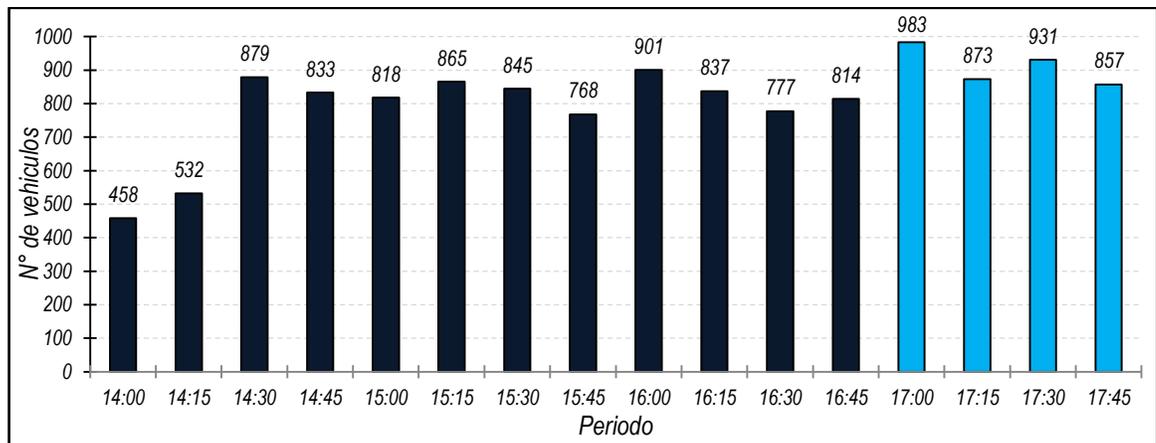


Fuente: Elaboración propia.

En el anexo A1 se presenta el análisis de volúmenes vehiculares, exponiendo las características principales del volumen de tránsito en la intersección de la avenida norte con calle 37ª. Algunas de las características presentadas, son la composición vehicular, porcentajes de participación, variación del tránsito y hora de máxima demanda durante la toma de información.

La figura 18 nos muestra variación del tránsito de la intersección de la avenida norte con calle 37ª para el periodo de estudio.

Figura 20. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 37ª



Elaboración propia.

Mediante el cálculo de la hora de máxima demanda para la intersección de la avenida norte con calle 37^a, se encontró que esta se encuentra entre las 17:00 y las 18:00 con un volumen vehicular de 3644 veh/h. Para determinar el factor de hora pico, se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$FHP = \frac{VHMD \text{ (veh. mixtos/h)}}{4 \times Q_{max} \text{ (veh. mixtos/15min)}}$$

Dónde:

- $FHP = VHMD \text{ (veh/h)}$ volumen horario de máxima demanda
- $Q_{max} = N^{\circ}$ de vehículos de los 15 minutos más cargados veh/15min.

Calculo:

$$FHP = \frac{3644}{4 \times 983} = 0.93$$

Gracias al análisis gráfico en la figura 18 correspondiente a la variación de tránsito de la intersección y el pertinente cálculo de la hora de máxima demanda, se observó que entre las 17:00 y las 18:00 se presenta el mayor volumen de vehículos transitando por la intersección, comportamiento que puede ser causado por el regreso a sus hogares de la población tunjana, después de haber realizado sus actividades cotidianas.

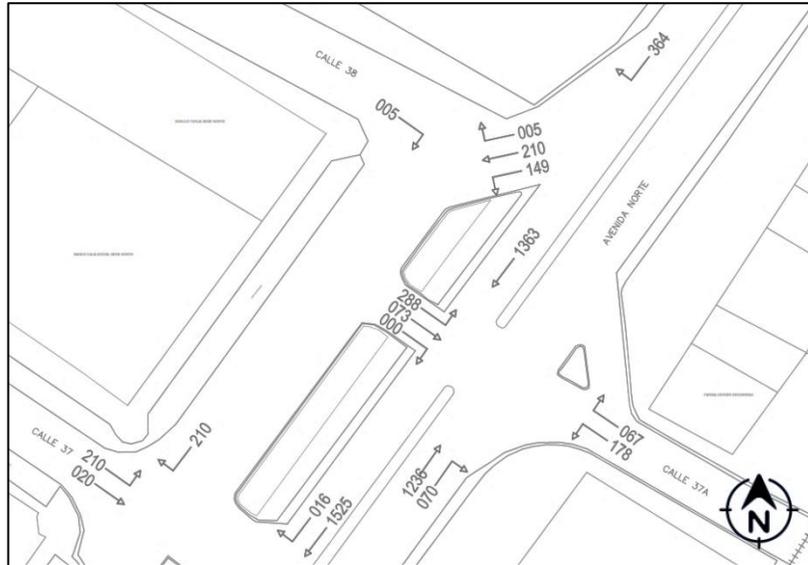
Si bien es cierto que se tomó la información sobre la intersección de la avenida norte con calle 37^a, hay otros movimientos vehiculares que afectan la intersección, debido a la cercanía de otras vías. Por la consideración anterior se tomó información de estos movimientos en la hora de máxima demanda, con el fin de obtener un modelo cercano al volumen vehicular de la intersección. En la tabla 7 se presentan los movimientos adicionales que se tomaron en la intersección de la avenida norte con calle 37^a.

Tabla 7. Volumen vehicular en las vías aledañas de la intersección de la avenida norte con calle 37^a.

MOVIMIENTO	MO-1	MO-2	MO-3	MO-4	MO-5	MO-6	MO-7
N° Vehículos (VPH)	116	240	56	164	20	4	16

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 48.

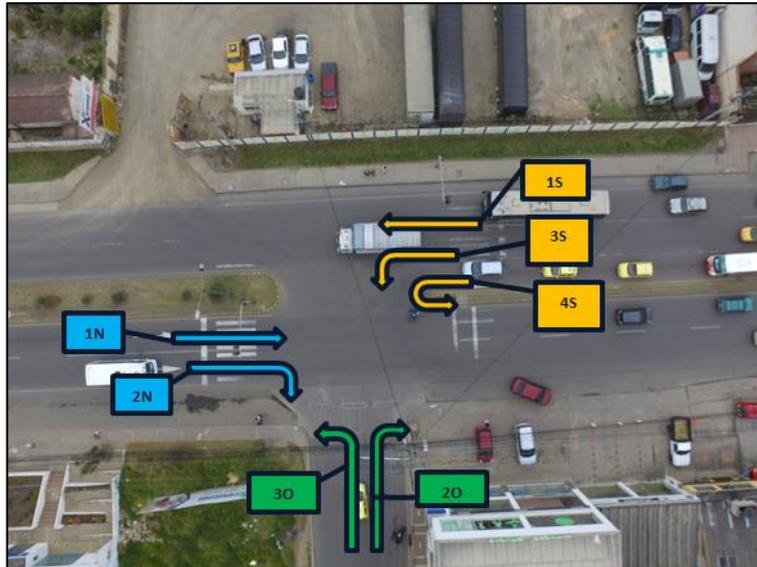
En la figura 22 y la tabla 8 se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48, información tomada por semillero de investigación de GIDOT (Grupo de Investigación y Desarrollo en Operación del Tránsito), donde se puede observar el comportamiento del tránsito durante 4 horas de toma de información (15:30 a 19:30)

Tabla 8. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.

Nº	MOVIMIENTOS
	Acceso Norte
1N	Directo (hacia el sur)
2N	Giro a la derecha (hacia el oeste)
	Acceso Sur
1S	Directo (hacia el norte)
3S	Giro a la izquierda (hacia el este)
4S	Giro en u (hacia el sur)
	Acceso Oeste
2O	Giro a la derecha (hacia el sur)
3O	Giro a la izquierda (hacia el norte)

Fuente: Elaboración propia.

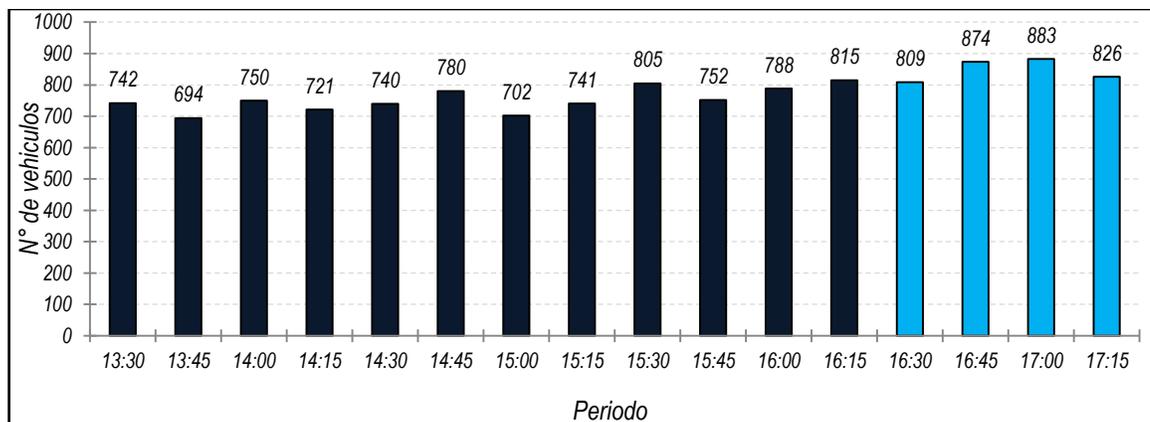
Figura 22. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.



Fuente: Elaboración propia.

En el anexo A2 se presenta el análisis de volúmenes vehiculares, exponiendo las características principales del volumen de tránsito en la intersección de la avenida norte con calle 37^a. Algunas de las características presentadas, son la composición vehicular, porcentajes de participación, variación del tránsito y hora de máxima demanda durante la toma de información. La figura 23 nos muestra variación del tránsito de la intersección de la avenida norte con calle 48 para el periodo de estudio.

Figura 23. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 48

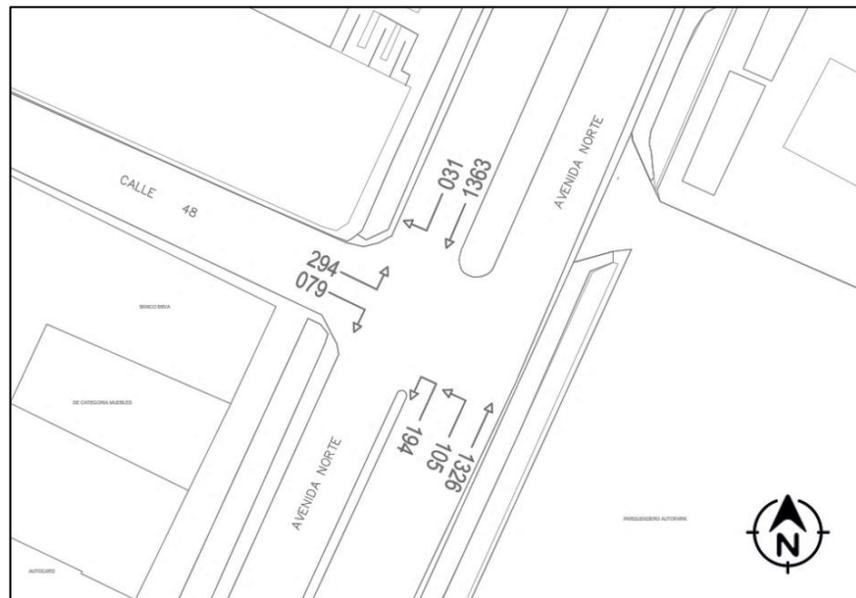


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la variación del tránsito en la intersección de la avenida norte con calle 48, se observa una variación más pareja en el transcurso del tiempo, sin cambios bruscos del volumen que oscilan entre los 700/veh/15min y los 900/veh/15min. También se puede notar que los mayores picos se encuentran en los periodos que comienzan a las 16:45 y 17:00.

Mediante el cálculo de la hora de máxima demanda para la intersección de la avenida norte con calle 48, se encontró que esta se encuentra entre las 16:30 y las 17:30 con un volumen vehicular de 3392/veh/h. Como se aprecia en el anexo A2 el factor de hora pico tiene un valor de 0.96, lo que indica que en la hora de máxima demanda el comportamiento de los volúmenes vehiculares es constante, sin variaciones significativas. Por ultimo en la figura 24 se presentan los volúmenes vehiculares para la hora de máxima demanda

Figura 24. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Volúmenes vehiculares. Intersección de la Av. Norte con calle 53.

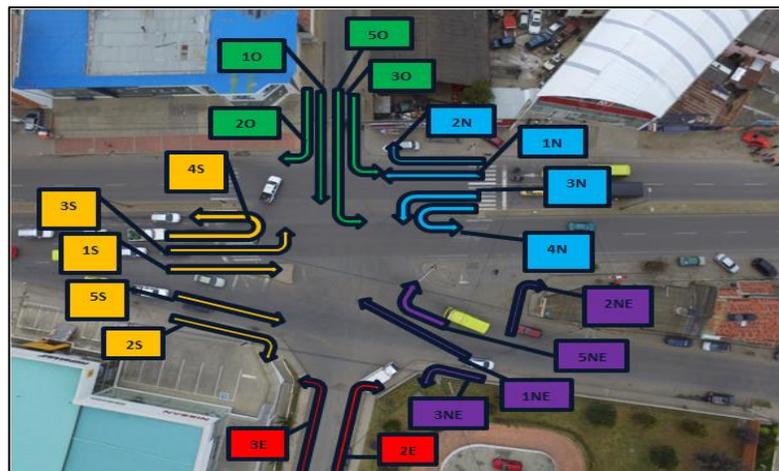
En la figura 25 y la tabla 9 se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 53, información tomada por semillero de investigación de GIDOT (Grupo de Investigación y Desarrollo en Operación del Tránsito), donde se puede observar el comportamiento del tránsito durante 4 horas de toma de información (15:00 a 19:00)

Tabla 9. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 53 en la ciudad de Tunja.

N°	MOVIMIENTOS
	Acceso Norte
1N	Directo (hacia el sur)
2N	Giro a la derecha (hacia el oeste)
3N	Giro a la izquierda (hacia el este)
4N	Giro en u (hacia el norte)
	Acceso Sur
1S	Directo (hacia el norte)
2S	Giro a la derecha (hacia el este)
3S	Giro a la izquierda (hacia el oeste)
4S	Giro en u (hacia el sur)
5S	Giro a la derecha (hacia el noreste)
	Acceso Este
2E	Giro a la derecha (hacia el norte)
3E	Giro a la izquierda (hacia el sur)
	Acceso Oeste
1O	Directo (hacia el este)
2O	Giro a la derecha (hacia el sur)
3O	Giro a la izquierda (hacia el norte)
5O	Giro a la izquierda (hacia el noreste)
	Acceso Noreste
1NE	Directo (hacia el sur)
2NE	Giro a la derecha (hacia el oeste)
3NE	Giro a la izquierda (hacia el este)
5NE	Giro a la derecha (hacia el norte)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 53 en la ciudad de Tunja.

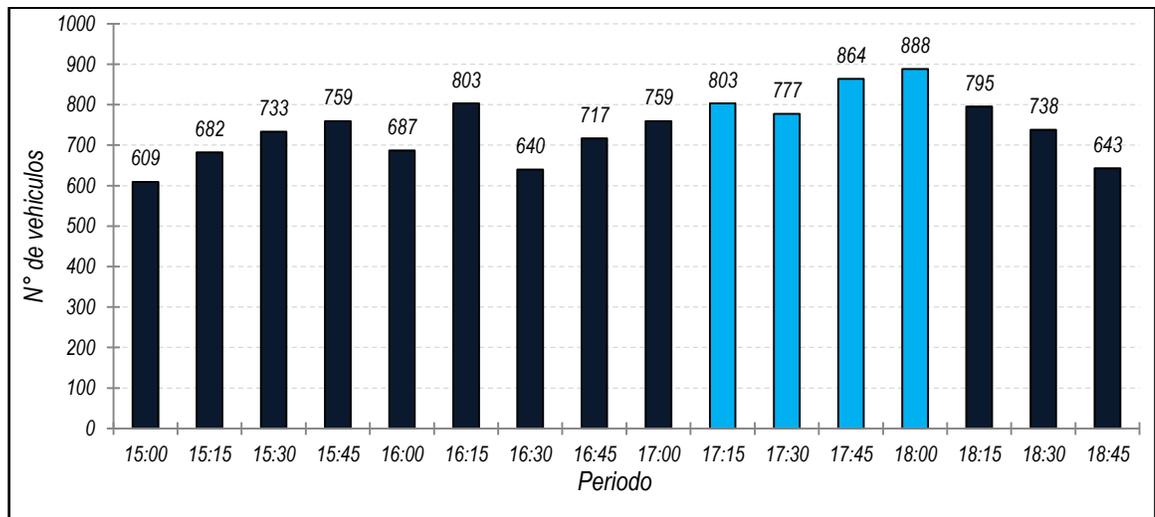


Fuente: Elaboración propia.

En el anexo A1 se presenta el análisis de volúmenes vehiculares, exponiendo las características principales del volumen de tránsito en la intersección de la avenida norte con calle 53. Algunas de las características presentadas, son la composición vehicular, porcentajes de participación, variación del tránsito y hora de máxima demanda durante la toma de información.

La figura 26 nos muestra variación del tránsito de la intersección de la avenida norte con calle 53 para el periodo de estudio.

Figura 26. Variación del tránsito en la intersección de la Av. Norte con calle 48

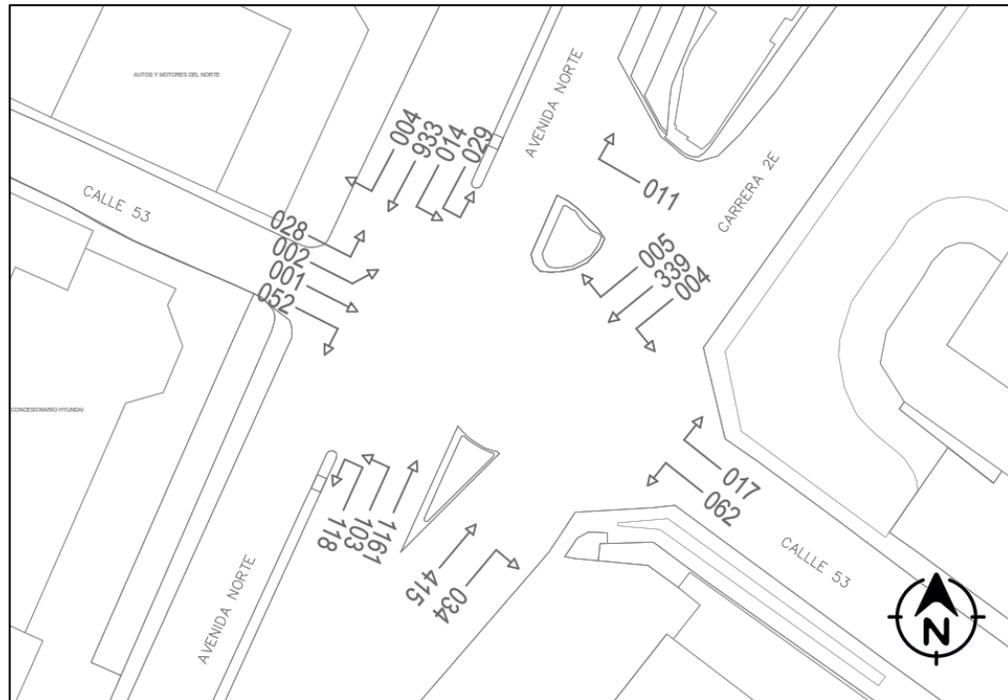


Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la variación del tránsito de la intersección de la avenida norte con calle 53, se puede evidenciar considerables cambios a lo largo del periodo de estudio, donde se visualiza un importante crecimiento de volumen vehicular en el periodo que comienza a las 17:15.

Gracias al análisis grafico en la figura 26 correspondiente a la variación de transito de la intersección y el pertinente cálculo de la hora de máxima demanda, se observó que entre las 17:15 y las 18:15 se presenta el mayor volumen de vehículos transitando por la intersección, comportamiento que puede ser causado por el regreso a sus hogares de la población tunjana, después de haber realizado sus actividades cotidianas. Por otra parte el factor de hora pico tiene un valor de 0.938, indicando que el flujo vehicular dentro de la hora de máxima demanda no tiene grandes variaciones. Por ultimo en la figura 27 se presentan los volúmenes vehiculares para la hora de máxima demanda.

Figura 27. Volumen vehicular en la hora de máxima demanda. Intersección de la avenida norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. ANÁLISIS DE VOLÚMENES PEATONALES

El peatón es un factor importante en cualquier problema de circulación urbana, especialmente desde el punto de vista de la seguridad, generalmente es más renuente a obedecer las leyes de tránsito, pero tampoco es respetado por los conductores, por dichas causas un gran porcentaje de las personas muertas en accidentes de tránsito son peatones.³¹

En referencia a la cita anterior y basándose en la toma de información de volúmenes vehiculares en las intersecciones en estudio, se procedió a tomar la variable macroscópica referente a volúmenes peatonales, en periodos de 15 minutos sobre la hora de máxima demanda.

³¹ TANDI INTERNACIONAL S.A. Metodología para la evaluación social de proyectos de inversión pública para construcción “Anexo 1 – caso de aplicación”. [en línea]. Disponible en < http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/parada_c_me/apendiceK.pdf>. [citado el 29 de septiembre del 2017]

Este estudio se realizó con el fin de determinar el número de peatones que transitan en una unidad de tiempo. La toma de volúmenes se llevó a cabo, considerando los movimientos que son conflictivos con el tránsito vehicular en las intersecciones en estudio, sin ninguna clasificación.

4.3.1. Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 37ª.

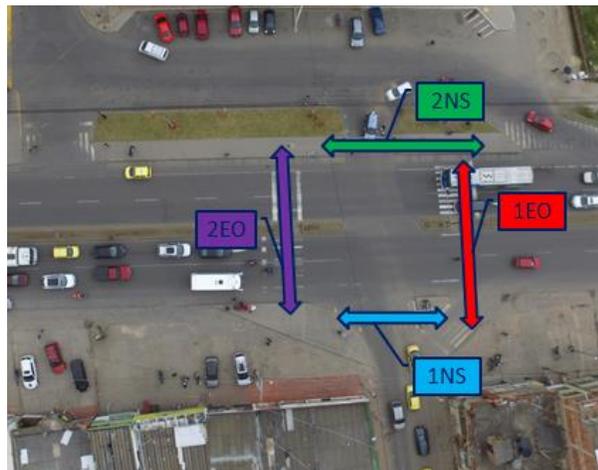
En la figura 28 y la tabla 10, se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37A, durante la hora de máxima demanda (17:00 a 18:00), observada en el anexo A1.

Tabla 10. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37ª en la ciudad de Tunja.

<i>SIM</i>	<i>Nº</i>	<i>MOVIMIENTOS</i>
	1NS	<i>Del norte hacia el sur y viceversa</i>
	2NS	<i>Del norte hacia el sur y viceversa</i>
	1EO	<i>Del oeste hacia el este y viceversa</i>
	2EO	<i>Del oeste hacia el este y viceversa</i>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37ª en la ciudad de Tunja.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se puede observar el número de peatones por hora en la totalidad de la intersección, así como el porcentaje de participación por movimiento y el factor de hora pico.

Tabla 11. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 37^a en la ciudad de Tunja.

PERIODO			MOVIMIENTOS AFORADOS				TOTAL (PPH)
			1NS	2NS	1EO	2EO	
17:00	-	17:15	59	73	49	46	227
17:15	-	17:30	46	50	82	32	210
17:30	-	17:45	42	64	42	69	217
17:45	-	18:00	45	55	90	44	234
TOTAL (PPH)			192	242	263	191	888
Porcentaje de participación			21.62%	27.25%	29.62%	21.51%	100.00%
Numero de peatones por hora						888	
Factor de hora pico						0.95	

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del análisis del flujo peatonal en la intersección, se encontró que no hay un movimiento predominante y que su distribución a lo largo del tiempo no varía mucho, resultado que se evidencia en el factor de hora pico. El volumen peatonal es alto con aproximadamente 888 peatones por hora, lo que justifica la condición c del manual de señalización vial, para instalación de semáforos peatonales. Los volúmenes peatonales de esta intersección se ven afectados directamente por la cercanía a la UPTC y la Normal superior, además de ser una zona comercial.

4.3.2. Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 48. En la figura 29 y la tabla 12 se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48, durante la hora de máxima demanda (17:15 a 18:15), observada en el anexo A2.

Tabla 12. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.

SIM	Nº	MOVIMIENTOS
	1NS	Del norte hacia el sur y viceversa
	1EO	Del oeste hacia el este y viceversa
	2EO	Del oeste hacia el este y viceversa

Fuente: Elaboración propia.

Otros de los movimientos peatonales que se tuvieron en cuenta ya que influyen en la intersección debido a su cercanía, son los movimientos ocurridos en el paso controlado de centro norte, por lo cual se realizó la toma de información en la hora de máxima demanda con el fin de tener una muestra del flujo peatonal.

Figura 29. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se puede observar el número de peatones por hora en la totalidad de la intersección, así como el porcentaje de participación por movimiento y el factor de hora pico. La figura 28 nos presenta el volumen peatonal al frente del centro comercial centro norte.

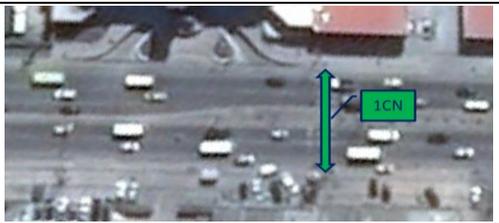
Tabla 13. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.

PERIODO			MOVIMIENTOS AFORADOS			TOTAL (PPH)
			1EO	1NS	2EO	
17:15	-	17:30	10	37	21	68
17:30	-	17:45	19	20	26	65
17:45	-	18:00	4	38	28	70
18:00	-	18:15	16	30	28	74
TOTAL (PPH)			49	125	103	277
Porcentaje de participación			17.69%	45.13%	37.18%	100.00%
Numero de peatones por hora						277
Factor de hora pico						0.94

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Movimiento y volúmenes peatonales aforados al frente del centro comercial centro norte.

PERIODO			MOVIMIENTOS
			1CN
17:15	-	17:30	121
17:30	-	17:45	115
17:45	-	18:00	140
18:00	-	18:15	103
TOTAL (PPH)			479



Fuente: Elaboración propia.

Gran parte del flujo peatonal que cruza por esta zona es generado por el centro comercial centro norte, el cual utiliza la fase exclusiva proporcionado por el semáforo para cruzar la avenida norte, a pesar de ello también se evidencia un flujo considerable en la intersección de la avenida norte con calle 48, presentando el mayor volumen hacia la zona del centro comercial, seguido de los peatones que cruzan de sur a norte.

4.3.3. Volúmenes peatonales. Intersección de la Av. Norte con calle 53. En la figura 31 se presenta los movimientos aforados en la intersección de la avenida norte con calle 37A, información tomada el 26 de septiembre del 2017, durante la hora de máxima demanda (17:00 a 18:00), observada en el anexo A3. En la tabla 14 se puede observar el número de peatones por hora en la totalidad de la intersección, así como el porcentaje de participación por movimiento y el factor de hora pico.

Figura 31. Movimientos peatonales aforados en la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Volúmenes peatonales de la intersección de la avenida norte con calle 48 en la ciudad de Tunja.

PERIODO			MOVIMIENTOS AFORADOS					TOTAL (PPH)
			1NS	2NS	1EO	2EO	1NE	
17:00	-	17:15	27	42	43	8	18	138
17:15	-	17:30	25	39	50	10	14	138
17:30	-	17:45	22	49	47	15	19	152
17:45	-	18:00	21	38	38	3	13	113
TOTAL (PPH)			95	168	178	36	64	541
Porcentaje de participación			17.56%	31.05%	32.90%	6.65%	11.83%	100.00%
Numero de peatones por hora							541	
Factor de hora pico							0.89	

Elaboración propia.

4.4. ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Uno de los grandes interrogantes en el campo del tránsito, es cómo influye el exceso de velocidad en la gravedad de los accidentes, de acuerdo a investigaciones realizadas en diversos países, un aumento de un kilómetro por hora en la velocidad promedio de una vía, aumenta en un 5% las lesiones y en un 7% los accidentes fatales.³²

Con el fin de determinar una posible relación entre la velocidad y los accidentes de tránsito ocurridos en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), se solicitó información relacionada con velocidades al observatorio de Movilidad de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (semillero de investigación ITyV-UPTC), con el objetivo de analizar la información y dar un diagnóstico acertado de las medidas de mitigación que pueden ser implementadas en estos puntos. Atendiendo a lo mencionado anteriormente, se realizó un análisis de velocidades puntuales a las intersecciones correspondientes, con el fin de determinar los siguientes parámetros:

- Tamaño de la muestra
- Intervalos de clase
- Frecuencia absoluta, relativa y acumulada
- Histograma de velocidades y distribución acumulada de velocidades
- Percentiles 15, 50 y 85

Los datos tomados por parte del observatorio de movilidad de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), varían según la intersección y fueron tomados mediante el método de cronometrar el tiempo que se demora un vehículo en recorrer una distancia predeterminada. Para establecer la velocidad de cada uno de los vehículos evaluados se realizó el siguiente cálculo:

$$velocidad (km/h) = \frac{distancia (m) \div 1000}{tiempo (seg) \div 3600}$$

³² COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD DE TRANSITO. ¿Es el exceso de velocidad realmente un problema de seguridad de tránsito? 2016 [en línea]. Disponible en <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/fichas_accion_14.pdf> [citado en 11 de septiembre del 2017]

Para caracterizar a cada uno de los vehículos involucrados en el tránsito, la toma de información se realizó a los principales tipos de vehículos que pueden infringir la velocidad de operación, los cuales se enuncian a continuación:

- Vehículos livianos
- Buses
- Camiones
- Motos

A continuación se describe las magnitudes de los parámetros involucrados así como la expresión de cálculo empleada.

$$N \geq \frac{(Z * S)^2}{E^2}$$

Dónde:

- N: Número de observaciones por acceso (Vehículos)
- Z: Constante correspondiente al nivel de confianza deseado
- S: Desviación estándar estimada de la muestra
- E: Error permitido en la estimación de la velocidad.

Debido a que las velocidades puntuales no han sido determinadas en análisis de velocidad previos, se realizó un estimado razonable usando la tabla 15 de acuerdo con el área de tránsito y el tipo de vía.

Tabla 15. Desviaciones estándar de velocidades instantáneas para determinar el Tamaño de la Muestra y Sentido.

Tipo de Tránsito	Tipo de Camino	Desviación Normal Promedio	
		Km/h	mi/h
Rural	Dos carriles	8.5	5.3
Rural	Cuatro carriles	6.8	4.2
Intermedio	Dos carriles	8.5	5.3
Intermedio	Cuatro carriles	8.5	5.3
Urbano	Dos carriles	7.7	4.8
Urbano	Cuatro carriles	7.9	4.9
Valor redondeado		8.0	5.0

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de estudios de ingeniería de tránsito.

Para seleccionar el nivel de confiabilidad acertado, se tomara en cuenta la tabla 16, la cual nos indica el nivel de confiabilidad de acuerdo a la constante de confiabilidad.

Tabla 16. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Constante K	Nivel de Confiabilidad (por ciento)
1.00	68.3
1.50	86.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de estudios de ingeniería de tránsito.

Para analizar los datos estos deben ser organizados en valores de igual magnitud, por ello la tabla 17 el número de intervalos según el tamaño de la muestra.

Tabla 17. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Tamaño de Muestra	Número de Intervalos
N	M
50-100	7-8
100-1.000	10-11
1.000-10.000	14-15
10.000-100.000	17-18
Mayor de 100.000	$1 + 3.3\text{Log}_{10}(M)$

Fuente: Cal y Mayor. Fundamentos e ingeniería de tránsito.

4.4.1. Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 37^a. Sobre la base de las consideraciones anteriores, se realizó el análisis de velocidades para cada uno de los accesos de la intersección de la avenida norte del con calle 37A de la siguiente manera:

- Nivel de confianza = 95%
- Valor de Z= 1.96
- Error permitido= 1.5 Km/h
- Desviación estándar = 8 km/h (valor redondeado)

$$N \geq \frac{(Z * S)^2}{E^2} \geq \frac{(1.96 * 8)^2}{1.5^2} \geq 110 \text{ Vehiculos}$$

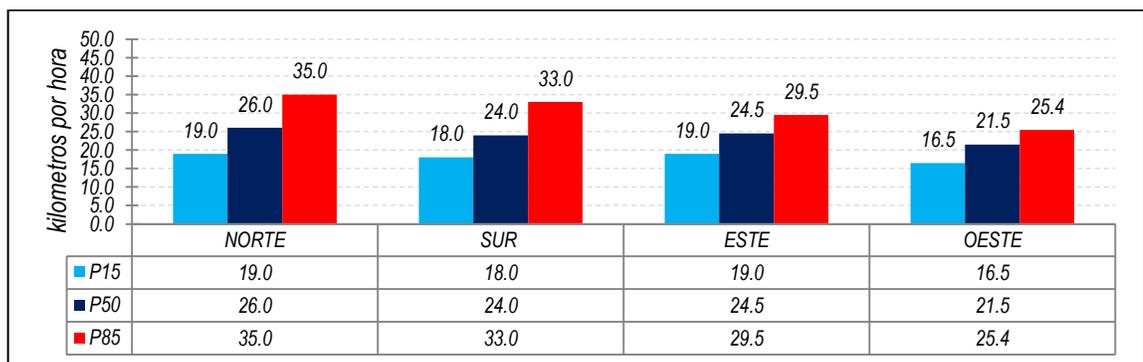
$$120 \text{ Vehiculos} \geq 110 \text{ Vehiculos}$$

En el anexo B1 se muestra la información de velocidades para el acceso norte, sur, este y oeste, la cual fue distribuida en 40 mediciones a vehículos livianos, 40 motocicletas, 20 camiones y 20 buses. Además se presenta curva acumulada de velocidades, la cual fue obtenida gracias a los datos obtenidos en campo la elaboración de la tabla de frecuencias.

De la distribución acumulativa de velocidades fue posible obtener que la velocidad de operación, correspondiente para cada acceso y su cálculo se tomó con percentil 85, el cual representa la velocidad máxima segura con la que circulan los vehículos bajo condiciones imperantes del tránsito, el control, la vía y el ambiente. La velocidad mínima razonable corresponde al percentil 15 representando la máxima velocidad a la cual circulan los conductores que van con máxima calma. Por ultimo tenemos la velocidad media que al percentil 50 representando máxima velocidad que adopta el 50% de los conductores.

En la figura 32 se presenta los percentiles 15, 50 y 85 para cada uno de los accesos de la intersección de la avenida norte con calle 37^a.

Figura 32. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 37^a.



Fuente: Elaboración propia.

En lo observado de la figura 32, se puede deducir que la velocidad de operación de la intersección de la avenida norte con calle 37^a corresponde a un intervalo

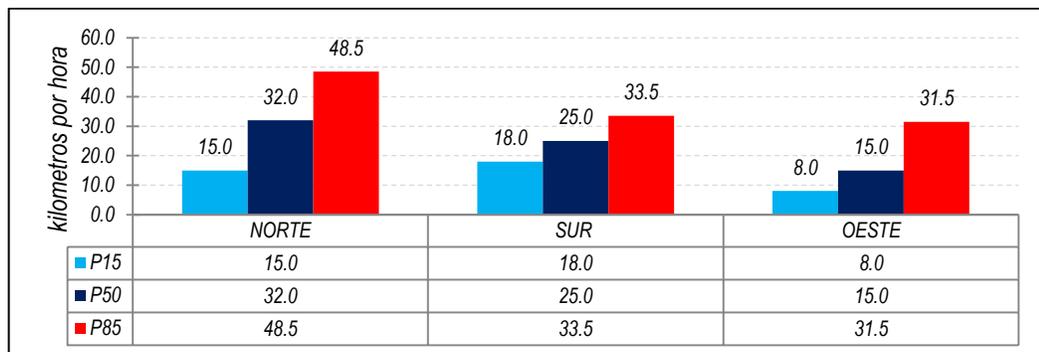
entre 35 y 25 kilómetros por hora, situación que de acuerdo al Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), el riesgo de muerte para peatones oscila entre el 5% y 15%. A pesar de ello también se debe tener en cuenta que se presentaron velocidades hasta de 70KPH a flujo libre, situación que puede generar un accidente de alta peligrosidad.

4.4.2. Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 48. Sobre la base de las consideraciones anteriores, se realizó el análisis de velocidades para cada uno de los accesos de la intersección de la avenida norte con calle 48. Ya que para los tres accesos (norte, sur y oeste) se tomó la misma cantidad de mediciones (120), se determinó si el tamaño de muestra es el adecuado realizando el cálculo en base a los parámetros estadísticos expuestos a anteriormente en la intersección de la calle 37.

En los anexo B2 se muestra la información de velocidades para el acceso norte, sur, este y oeste, la cual fue distribuida en 40 mediciones a vehículos livianos, 40 motocicletas, 20 camiones y 20 buses. Además se presenta curva acumulada de velocidades, la cual fue obtenida gracias a los datos obtenidos en campo la elaboración de la tabla de frecuencias.

En la figura 33 se presenta los percentiles 15, 50 y 85 para cada uno de los accesos de la intersección de la avenida norte con calle 37^a.

Figura 33. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la intersección de la avenida norte con calle 48, se observa que la velocidad de operación del acceso norte tiene un valor de 48.5 KPH, por consiguiente una velocidad alta al acercarse a la intersección, elevando la probabilidad de riesgo de muerte de un peatón a un 80%. El acceso sur y oeste se

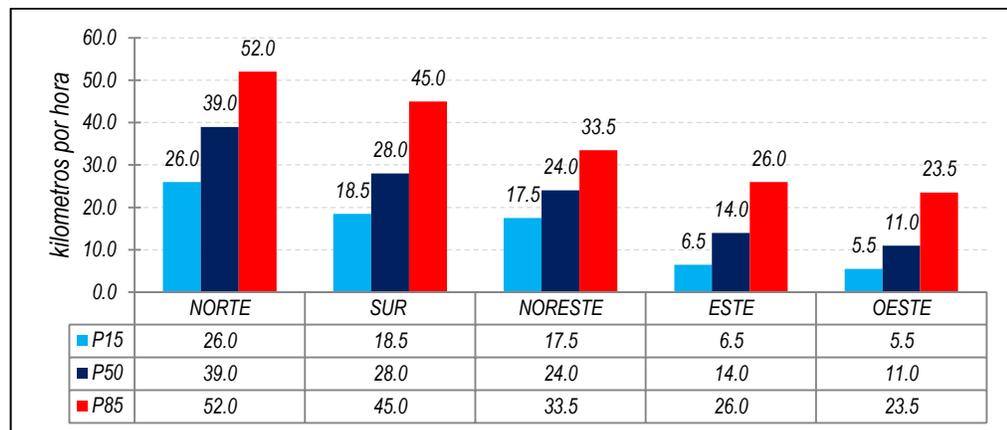
mantiene dentro de los rangos de velocidad adecuada de aproximación a una intersección.

4.4.3. Velocidad en la intersección de la Av. Norte con calle 53. Ya que para los cinco accesos (norte, sur, este, oeste y noreste) se tomó la misma cantidad de mediciones (120), se determinó si el tamaño de muestra es el adecuado realizando el cálculo en base a los parámetros estadísticos expuestos a anteriormente en la intersección de la calle 37.

En los anexo B3 se muestra la información de velocidades para el acceso norte, sur, este y oeste, la cual fue distribuida en 40 mediciones a vehículos livianos, 40 motocicletas, 20 camiones y 20 buses. Además se presenta curva acumulada de velocidades, la cual fue obtenida gracias a los datos obtenidos en campo la elaboración de la tabla de frecuencias.

En la figura 34 se presenta los percentiles 15, 50 y 85 para cada uno de los accesos de la intersección de la avenida norte con calle 53.

Figura 34. Velocidades para la intersección de la avenida norte con calle 48.



Elaboración propia.

De la distribución acumulativa de velocidades fue posible obtener, que la velocidad de operación de los accesos sur y norte, tienen una velocidad alta de aproximación a la intersección, debido a que la distancia de parada de acuerdo al manual de diseño geométrico oscilaría entre 50m a 65m, y el riesgo de muerte de un peatón al ser atropellado en 60% a 85%. Para los accesos noreste, este y oeste se mantienen velocidades de aproximación adecuadas sin superar los 35KPH.

4.5. ANÁLISIS DE OPERACIÓN

En lo que concierne a la ingeniería y específicamente a la rama la operación del tránsito, es preciso decir, que la seguridad depende de varios factores, como lo son el estado de la vía, señalización adecuada, estado de los vehículos, iluminación, entre otros factores que puedan incurrir en accidentes de tránsito, sin embargo es el comportamiento del usuarios quienes terminan de definir y conformar las características de los siniestros.

Ante la situación planteada fue preciso observar el comportamiento de los diferentes usuarios en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)) con el propósito de apreciar la interacción entre los peatones, conductores, pasajeros y estado físico de las intersecciones.

El primer comportamiento a evaluar en las tres intersecciones en estudio, fue la observación de puntos de conflicto generados por la coincidencia entre las trayectorias de vehículos y peatones. A pesar de que las tres intersecciones tienen un tipo de control semaforizado, cuya función es separar los conflictos entre los usuarios, en la intersección de la avenida norte con calle 48 solo se contempla el punto de vista vehicular, debido a la cercanía de un paso controlado peatonal al frente del centro comercial centro norte, lo que produce cruces inseguros y poco eficientes al ignorar a un usuario vulnerable, como lo son los peatones. Otro de los comportamientos a evaluar en las intersecciones, fue la interacción entre los vehículos y pasajeros, ya que las paradas de buses en lugares no regulados, provoca una circulación lenta y peligrosa, debido a la exposición de los pasajeros al flujo vehicular.

Por último se observó el comportamiento de los conductores y peatones al acercarse a la zona de las intersecciones, observando si los peatones utilizan la infraestructura existente para cruzar y los conductores respetan la demarcación y señalización.

Dadas las condiciones que anteceden se evaluarán las siguientes condiciones para las intersecciones en estudio:

- Comportamiento de los usuarios
- Tipos de conflictos

4.5.1. Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 37^a. La observación de la operación del tránsito sobre la intersección de la avenida norte con calle 37^a, se realizó durante la hora de máxima demanda (17:00 a 18:00), determinada anteriormente en el capítulo 4.2.

4.5.1.1. Comportamiento de los usuarios. Dentro de la observación en campo de los comportamientos de los usuarios en la intersección de la avenida norte con calle 37^a, se presentan varias conductas que generan inseguridad en el sitio. Las situaciones conflictivas que pueden potencializar los accidentes en la intersección presentada a continuación en la tabla 18.

Tabla 18. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 37^a

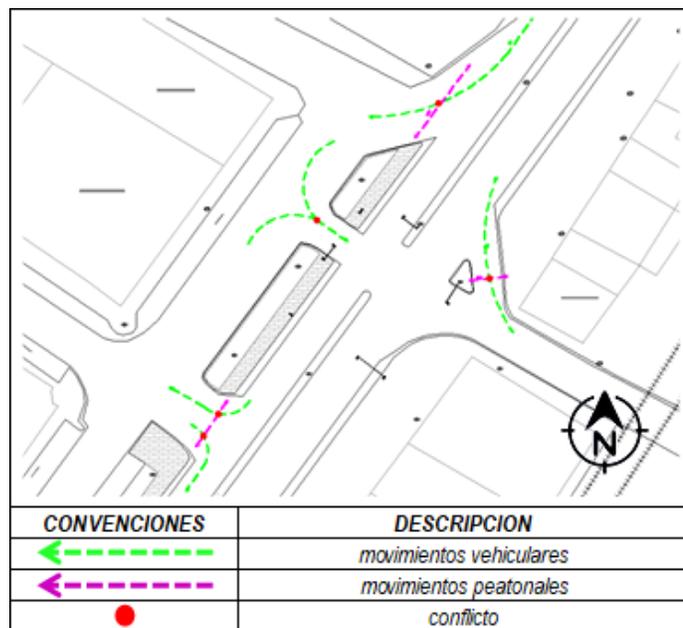
DESCRIPCION DE LA SITUACION	ARCHIVO FOTOGRAFICO
<p><i>Debido a que es una zona comercial, se presenta vehículos parqueados al costado oeste y este de la intersección, generando entorpecimiento del flujo vehicular y peatonal. Además los coches estacionados sobre las aceras impiden el paso de los peatones obligándolos a circular por la calzada.</i></p>	
<p><i>Los vehículos de servicio público como son los taxis, toman la zona de paradero de buses como zona de estacionamiento, sin embargo en la intersección se encontró una señal SI-09, la cual indica que hay un sitio destinado para el estacionamiento de taxis.</i></p>	
<p><i>Los peatones no utilizan las demarcaciones y fases del semáforo para cruzar la carretera, condición que se ve muy constante hacia el lado de la UTPC y el centro comercial la sexta.</i></p>	
<p><i>Uno de los problemas que afecta la seguridad en la intersección, es la parada constante de buses por las acciones de ascenso y descenso de pasajeros en lugares no regulados a pesar de existir zonas de paradero cercanas.</i></p>	

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.2. Tipo de conflictos. Los conflictos que se identifican en esta intersección, corresponden al entrecruzamiento entre vehículo – peatón; a pesar de existir el paso controlado con semáforo, se observan falencias en la programación de este, puesto que no toma en cuenta todos los movimientos y vehículo – vehículo, tal es el caso del acceso occidental, el cual presenta falencias debido a que entran en conflicto los vehículos que viene del norte con los que llegan de la calle 37ª para realizar los movimientos 10 y 30 observados en la figura 19.

En la figura 35 se ilustra los conflictos encontrados en sobre la zona de influencia de la intersección de la avenida norte con calle 37ª.

Figura 35. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 37ª.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 48. La observación de la operación del tránsito sobre la intersección de la avenida norte con calle 48, en la hora de máxima demanda (17:15 a 18:15), determinada anteriormente en el capítulo 4.2.

4.5.2.1. Comportamiento de los usuarios. En lo observado durante la visita a campo, se encontraron diferentes situaciones de inseguridad, causado por

el comportamiento inapropiado de los usuarios que circulan e intervienen en la operación del sitio de la intersección. Las situaciones conflictivas que pueden potencializar los accidentes en la intersección de la avenida norte con calle 48 se presentan a continuación en la tabla 19.

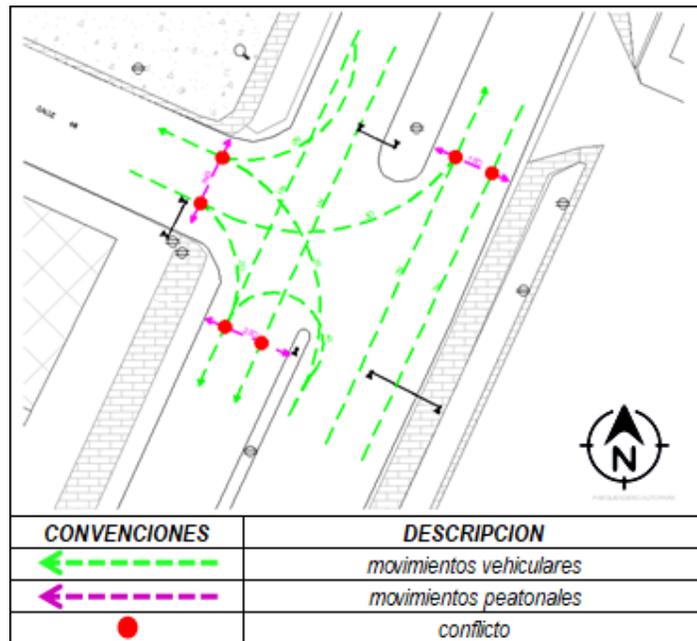
Tabla 19. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 48

DESCRIPCION DE LA SITUACION	ARCHIVO FOTOGRAFICO
<p><i>El giro en u desde el acceso sur es dificultoso, debido al poco radio de giro que los vehículos poseen para realizar este movimiento, especialmente para los vehículos pesados y buses</i></p>	
<p><i>No existen rutas para modo de transporte no motorizado como ciclistas presentando conflictos con el flujo vehicular</i></p>	
<p><i>Parqueo en la zona cercana de la intersección a pesar de la señalización SR-28a ubicada sobre la avenida norte. Se ubican vehículos sobre las aceras por parte de algunos establecimientos como venta de carros.</i></p>	
<p><i>Paso de peatones por lugares inadecuados sobre la avenida norte especialmente al frente del centro comercial centro norte a pesar de la cercanía del paso controlado.</i></p>	
<p><i>Uno de los problemas que afecta la seguridad en la intersección, es la constante detención de buses por las acciones de ascenso y descenso de pasajeros en lugares no regulados. La condición expresada anteriormente se presenta especialmente sobre la avenida norte, obstaculizando flujos de paso y giro.</i></p>	

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2. Tipo de conflictos. En lo referente a conflictos encontrados en la intersección, se pudo evidenciar principalmente los conflictos tipo cruce “vehículo – peatón”, ya que la fase semafórica no contempla el cruce de peatones. En la figura 36 se ilustra los conflictos que no separa la fase semafórica en la intersección.

Figura 36. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Operación de la intersección de la Av. Norte con calle 53. La observación de la operación del tránsito sobre la intersección de la avenida norte con calle 53, en la hora de máxima demanda (17:15 a 18:15), determinada anteriormente en el capítulo 4.2.

4.5.3.1. Comportamiento de los usuarios. Con base a la observación de la operación de la intersección, se evidencia diferentes situaciones que pueden afectar la seguridad a causa de malas conductas que se presentan por usuarios que frecuentan la intersección.

A continuación se ilustran a través de la tabla 20 las problemáticas relacionadas con la operación de la intersección

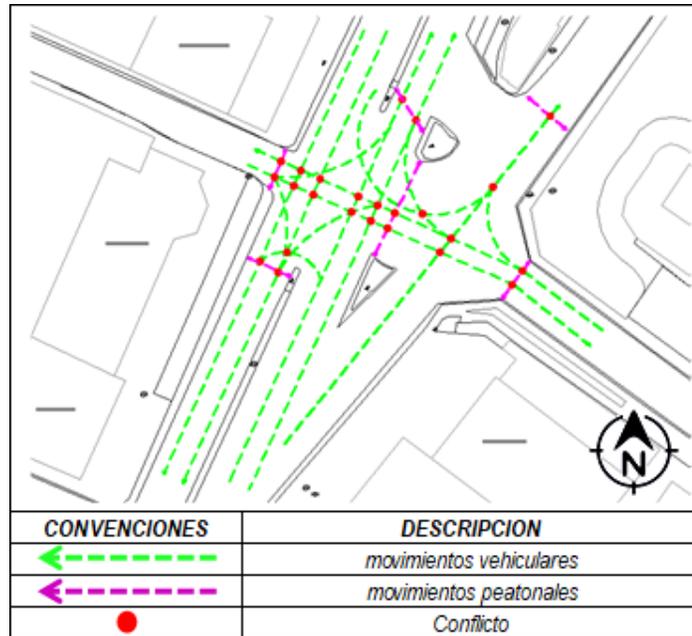
Tabla 20. Situaciones encontradas en la intersección de la Av. norte con calle 48

DESCRIPCION DE LA SITUACION	ARCHIVO FOTOGRAFICO
<p>Los giros en u son dificultosos tanto para vehículos particulares como del sector público, sobre los carriles exclusivos para giro a la izquierda en la Avenida norte.</p>	
<p>Parqueo de vehículos en diferentes zonas de la intersección como aceras y accesos.</p>	
<p>Uno de los problemas que afecta la seguridad en la intersección, es la parada constante de buses por las acciones de ascenso y descenso de pasajeros en lugares no regulados.</p>	
<p>Paso de peatones por lugares inadecuados en diferentes zonas de la intersección.</p>	
<p>Se realizan maniobras peligrosas desde los accesos este y oeste, ya que no están semaforizados, ni se especifican los movimientos permitidos por estos accesos.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.2. Tipo de conflictos. De acuerdo a lo observado, esta intersección presenta gran cantidad de conflictos debido a que los accesos este y oeste no tienen control semaforizado, evidenciándose maniobras peligrosas y generando conflictos vehículo – vehículo. Además se presentan conflictos entre peatón – vehículo en diferentes accesos de la intersección.

Figura 37. Conflictos que no separa el semáforo en la intersección de la Avenida norte con calle 48.



Elaboración propia.

4.6. ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD

Uno de los problemas de salud pública que han aparecido desde la misma existencia del vehículo y que deja más de un millón de fatalidades en el mundo, son los problemas relacionados con la seguridad vial, es decir accidentes de tránsito, que día a día aparecen con mayor frecuencia en diferentes lugares del planeta. De acuerdo al código nacional de tránsito, un accidente está definido como un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en el. Los accidentes de tránsito pueden ser causados por diferentes factores como la infraestructura, comportamiento de los usuarios, estado del clima, entre otros, que inciden directamente en la frecuencia de los siniestros, por ello el campo de la ingeniería de tránsito ha definido los accidentes como uno de los dos problemas de orden vital, ya que se ven comprometidas las vidas humanas. Con el fin de observar el comportamiento de los accidentes en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), fue preciso revisar IPAT (informe policial de accidentes de tránsito) usado por los cuerpos especializados de policía de tránsito para la recolección primaria de datos. Con el fin de observar mejor el comportamiento de accidentes de tránsito, se revisaron IPAT de los últimos 3 años

(2015-2016-2017) ocurridos en estas intersecciones, extrayendo las características principales que puedan ser causales de accidentes de tránsito, las cuales se enuncian a continuación:

- Fecha
- Hora
- Localización
- Gravedad
- Clase
- Condición climática
- Estado de la superficie
- Visibilidad
- Iluminación
- Semáforos
- Clase de vehículo
- Lugar de impacto
- Croquis (bosquejo topográfico)

4.6.1. Tipos de accidente. Con la información recolectada de los IPAT, sobre localización, clase de vehículo, croquis y lugar de impacto, se estableció el tipo de accidente ocurridos en las intersecciones en estudio. Los tipos de accidentes se enuncian a continuación:

- Por alcance
- De frente
- Lateral
- Angulo recto
- Por giro
- Colisión con objeto fijo
- Atropello a peatones o ciclistas

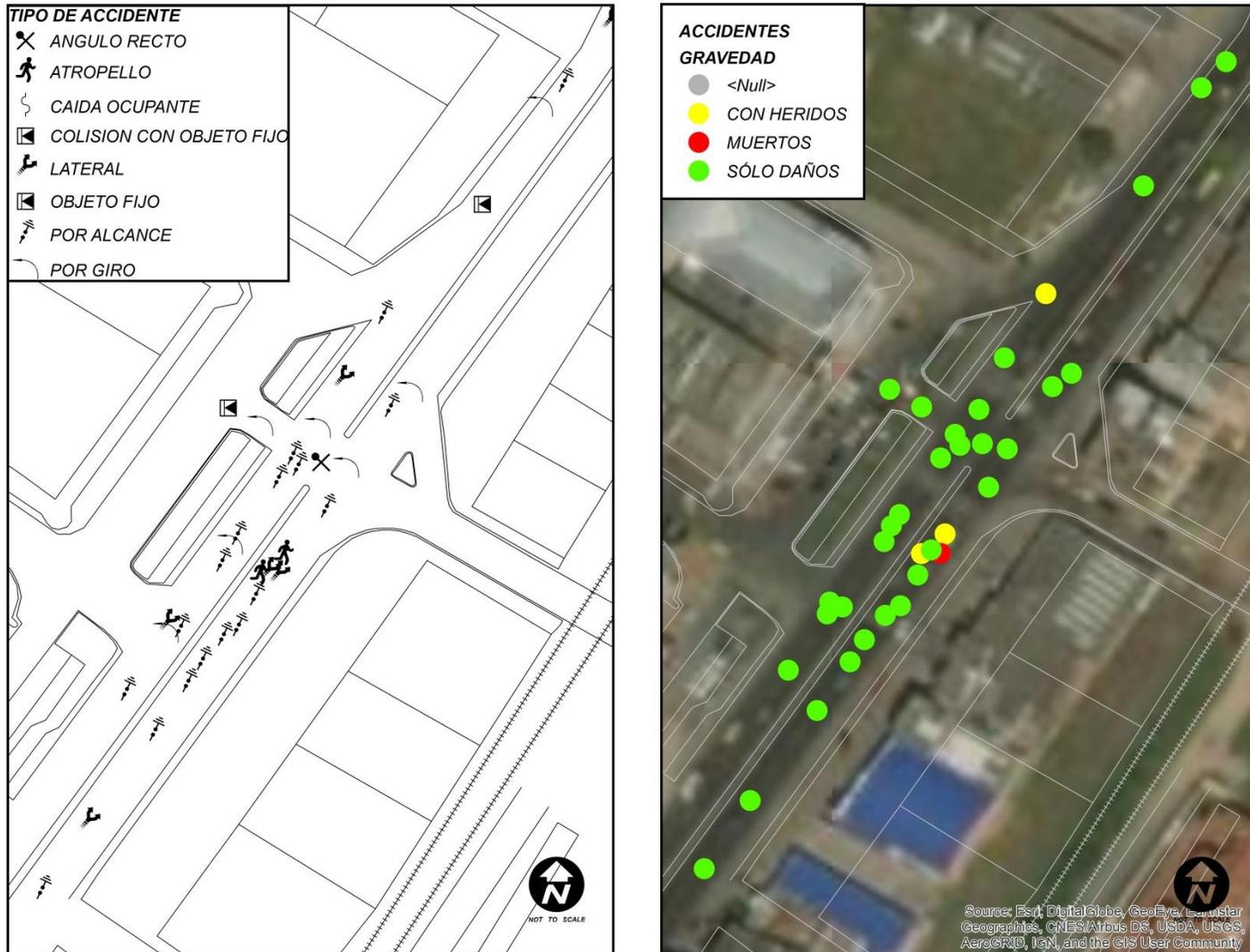
Para tener una mejor idea del comportamiento de los accidentes en las intersecciones en estudio, se elaboran diagramas de colisión, los cuales son esquemas en los que se grafican los accidentes y se identifican los tipos principales, permitiendo adquirir de esta manera una idea general de cómo suceden los eventos.

La figura 38, 39 y 40 muestran los diagramas de colisión para las intersecciones en estudio, empleando diferentes símbolos para cada tipo de accidente. En la figura 41, 42 y 43 muestran los tipos de accidentes que se presentan con mayor frecuencia en cada intersección.

En relación a la hora de los siniestros en el anexo F1 permite identificar que durante los últimos tres años, no se evidencia un período predominante de horas de accidentes, donde los accidentes han ocurrido en el periodos donde la visibilidad es clara, es decir horas del día y la cantidad de accidentes en horas de la noche son mínimas.

Además en el plan municipal de seguridad vial de la ciudad de Tunja se encontró que los accidentes están distribuidos a lo largo del día sin establecerse comportamientos centrados a alguna hora del día, en cambio se relacionan la siniestralidad respecto a las horas pico identificadas por Convenio interadministrativo 010 de 2012 y estableciendo porcentajes de accidentalidad de acuerdo a cada hora sin variaciones considerables.

Figura 38. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 37ª.



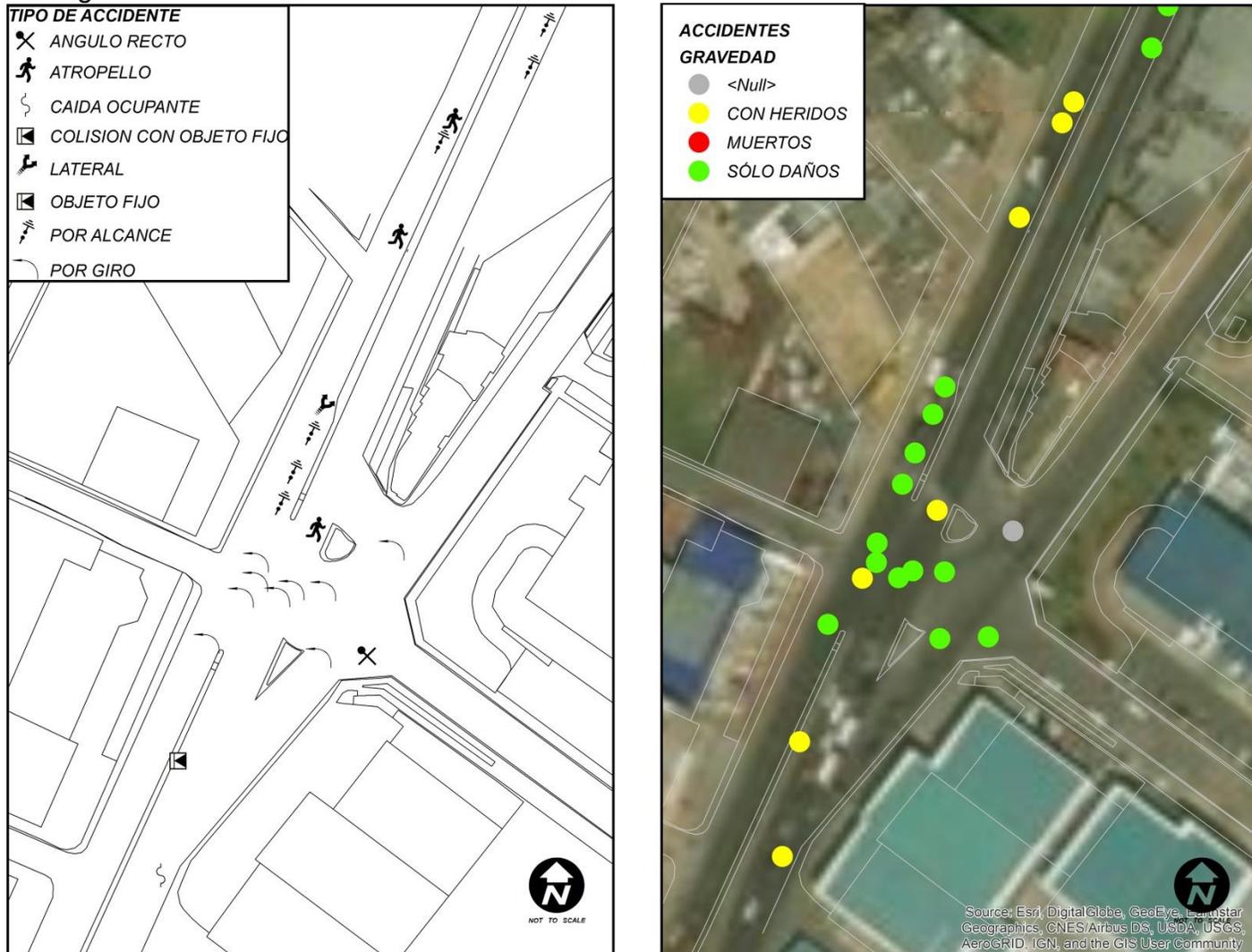
Fuente: Elaboración a partir de Arcgis 10.2.2.

Figura 39. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 48.



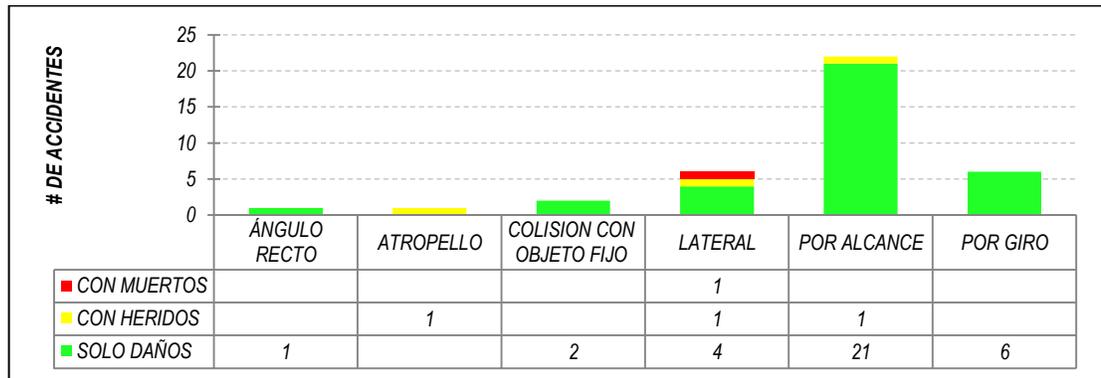
Fuente: Elaboración a partir de Arcgis 10.2.2.

Figura 40. Diagrama de colisiones. Intersección de la avenida norte con calle 53.



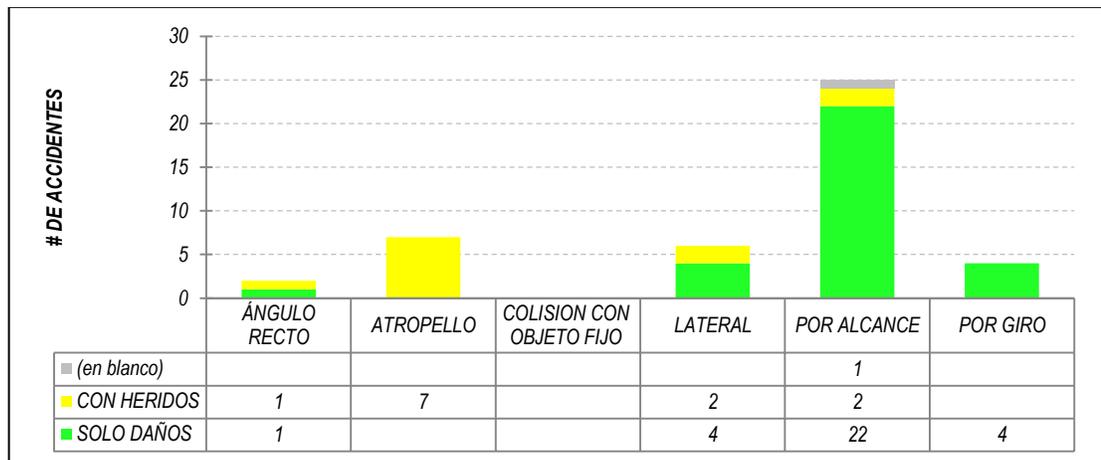
Fuente: Elaboración a partir de Arcgis 10.2.2.

Figura 41. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.



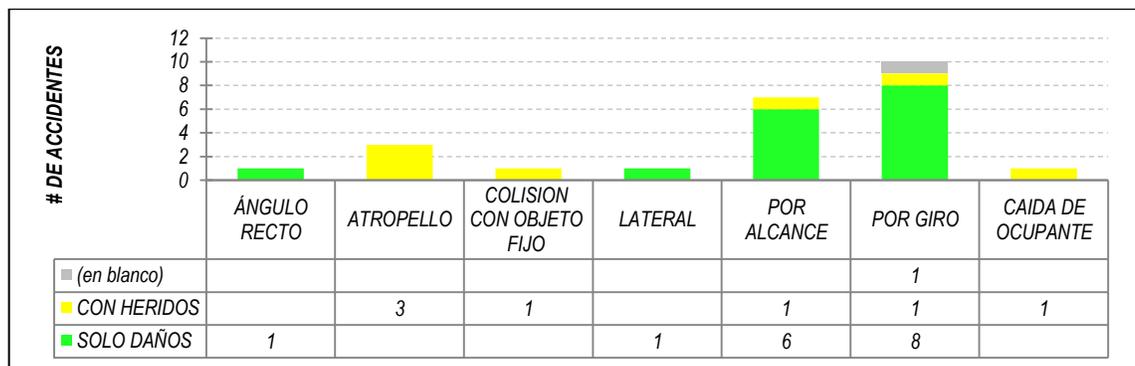
Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Tipos de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia.

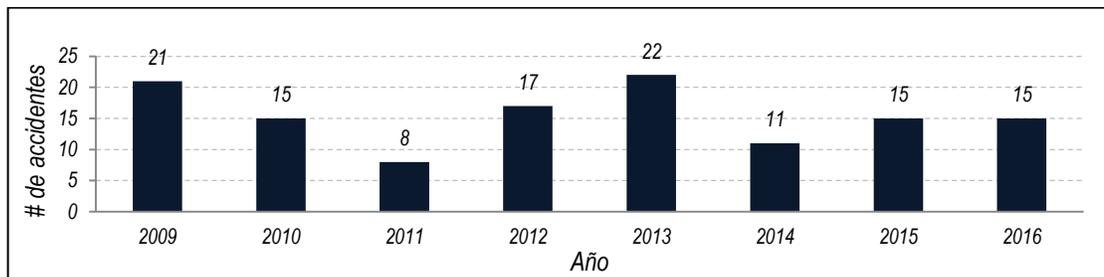
4.6.1.1. Intersección de la avenida norte con calle 37ª. Como se pudo observar en la figura 38 y 41, el accidente que se presenta con mayor frecuencia en la zona de influencia de la intersección de la avenida norte con calle 37ª es el accidente por alcance, teniendo una cantidad de 22 siniestros sobre esta zona, sin embargo estos accidentes en su gran mayoría corresponden a un gravedad de solo daños. Estos accidentes pueden ser provocados por el semáforo de esta intersección, ya que una de las desventajas que proporciona estos dispositivos es el incremento de este tipo de accidentes, además de la imprudencia de los conductores al no respetar la distancia de seguridad. Seguido de los accidentes por alcance, se encuentran los accidentes laterales, en los que se encuentran un accidente con gravedad de muerte sobre el acceso sur, el cual es el acceso con mayor número de accidentes en la intersección de la avenida norte con 37ª. Estos accidentes suelen ser provocados por imprudencia de los conductores al querer adelantar vehículos que se desplazan a una menor velocidad o están estacionados sobre la vía. Otro de los accidentes que provocan heridos sobre la zona de la intersección, es el accidente por atropello, ya que a pesar de los pasos seguros para peatones como la fase semafórica de la intersección y el puente peatonal de la UPTC, en algunos casos no son utilizados por ellos, pasando por lugares inadecuados como se evidencio en el numeral 4.5.1.

4.6.1.2. Intersección de la avenida norte con calle 48. La segunda intersección evaluada presenta un comportamiento similar a la de la calle 37ª, debido a que el mayor número de accidentes de tránsito que se presentan sobre esta intersección son los de tipo por alcance, dejando un total de 2 heridos y 22 solo daños. Hay que tener en cuenta que estos accidentes no solo se evidencian sobre la intersección de la avenida norte con calle 48, sino también sobre el semáforo frente al centro comercial centro norte, el cual contiene una fase exclusiva para peatones. No obstante un de los grandes problemas que se observa en la zona son los accidentes por atropello, ya que han dejado un total de 7 heridos durante los últimos 3 años. Esta condición puede ser atribuida a las conductas inadecuadas de los peatones que pasan por lugares inadecuados.

4.6.1.3. Intersección de la avenida norte con calle 53. Por último la intersección llamada popularmente la Toyota, presenta un comportamiento en la accidentalidad un poco diferente a las anteriores intersecciones, ya que los accidentes que se presentan con mayor frecuencia en esta zona son los accidentes por giro, principalmente sobre la intersección semaforizada, debido a que dos de sus accesos no están semaforizados (este-oeste) como se evidencio en el numeral 4.5.3. Luego de los accidentes por giro, el segundo tipo de accidente más repetitivo son los accidentes por alcance, los cuales pueden ser provocados por el mismo tipo de control y la imprudencia de los conductores que frecuentan la zona al no respetar la distancia de seguridad entre vehículos.

4.6.2. Evolución histórica de los accidentes de tránsito. Las estadísticas de accidentalidad sirven para evaluar el funcionamiento de las carreteras en cuestión a seguridad vial con el único fin de obtener una medida cuantitativa de ello. Para observar la evolución histórica de accidentes de tránsito en las intersecciones en estudio, se tomaron los registros correspondientes al período enero de 2009 a diciembre de 2016 (108 meses), la información fue tomada de la bases de datos de la secretaria de tránsito y transporte (STT), en el cual se registra la fecha de ocurrencia, el número de accidentes presentados y la gravedad del accidentes (relacionada con las características del accidente). Uno de los aspectos a examinar en la evolución histórica de los accidentes, es la tendencia que han tomado cada uno de ellos a través de los años, donde se pueden observar comportamientos de los accidentes.

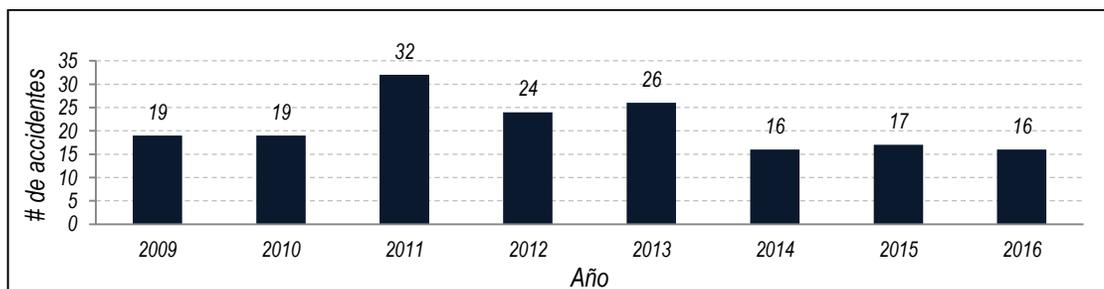
Figura 44. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 44 se evidencia que en los últimos tres años los accidentes de tránsito han venido incrementado en la zona de influencia de la intersección de la avenida norte con calle 37^a, estabilizándose en los dos últimos años con una totalidad de 15 accidentes por año.

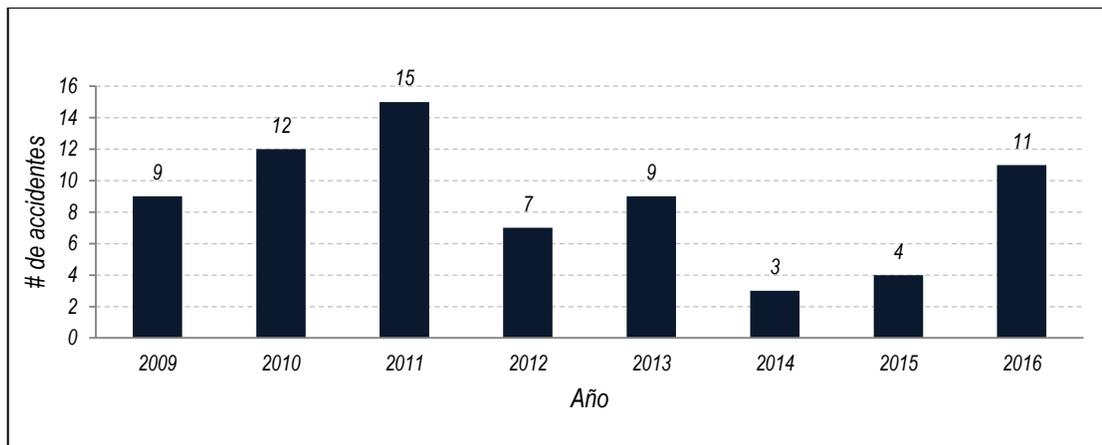
Figura 45. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración Propia.

La intersección de la avenida norte con calle 48 presento un comportamiento más uniforme en la ocurrencia de los accidentes, con un valor máximo de 32 accidentes por año, tomando una tendencia de reducción entre el año del 2011 al 2014. Ya para los últimos 3 años se observó que los accidentes se han venido normalizando en un valor de 16 accidentes por año.

Figura 46. Evolución histórica de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 53.



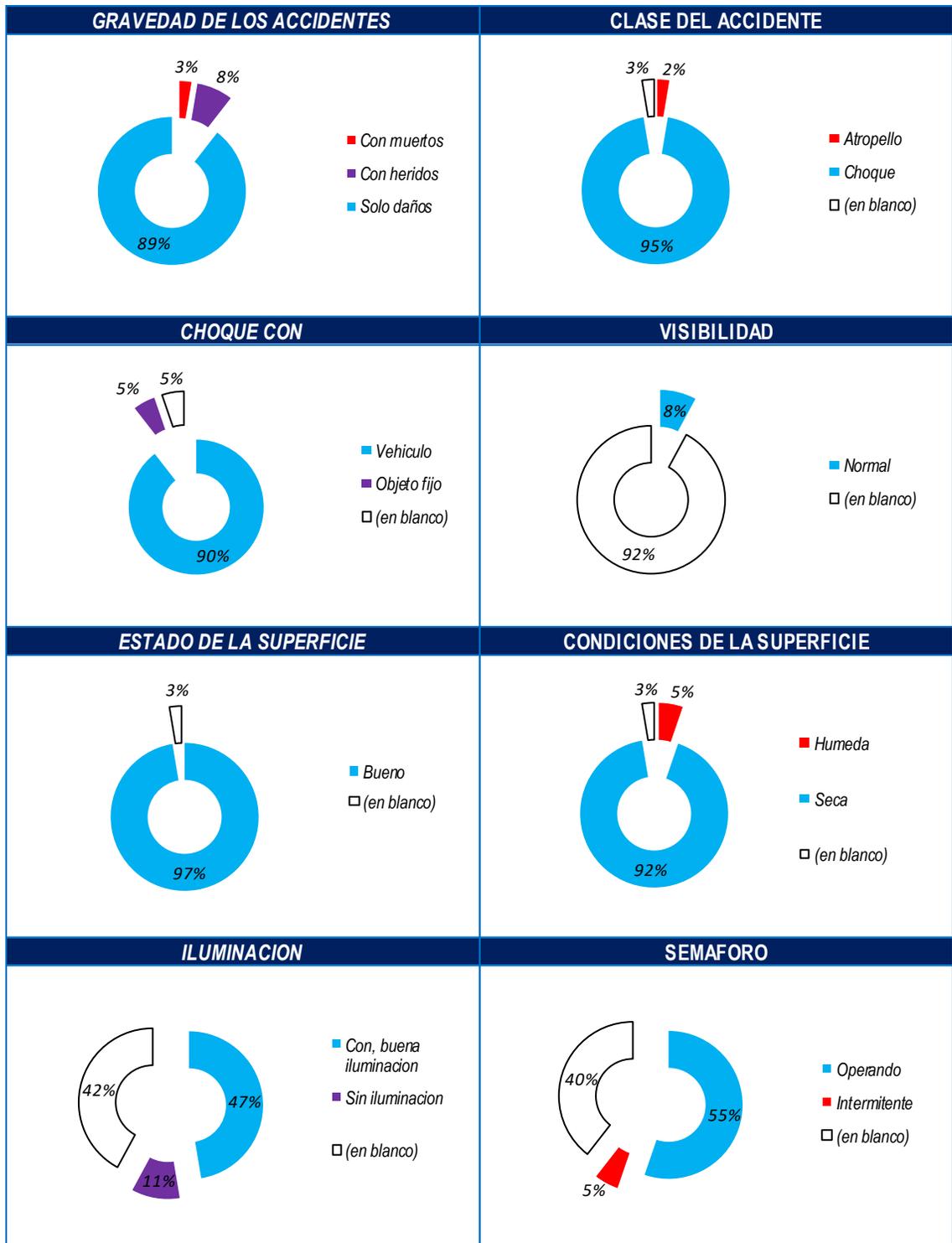
Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la figura 46, los accidentes ocurridos en la zona de influencia de la intersección de la avenida norte con calle 53, tiene una gran variabilidad a través de los años, presentando una tendencia a incrementar entre el año 2009 a 2011 y luego una gran reducción al año 2012 con 7 accidentes. En lo último tres años los accidentes habían tenido una ocurrencia muy baja, específicamente en el año 2013 y 2014, pero para el año 2016 volvió a amentar el número de accidentes con una totalidad de 11 accidentes por años

4.6.3. Caracterización de la accidentalidad. Con el fin de facilitar la comprensión de la información suministrada para cada una de las intersecciones en estudio, se elaboraron fichas resumen que contienen las características más importantes de los siniestros ocurridos en ellas. Entre las características más importantes se tienen la gravedad, clase, choque con, visibilidad, estado de la superficie, condiciones de la superficie, iluminación y semáforo, ya que son características que pueden ser atribuibles a la infraestructura de una intersección.

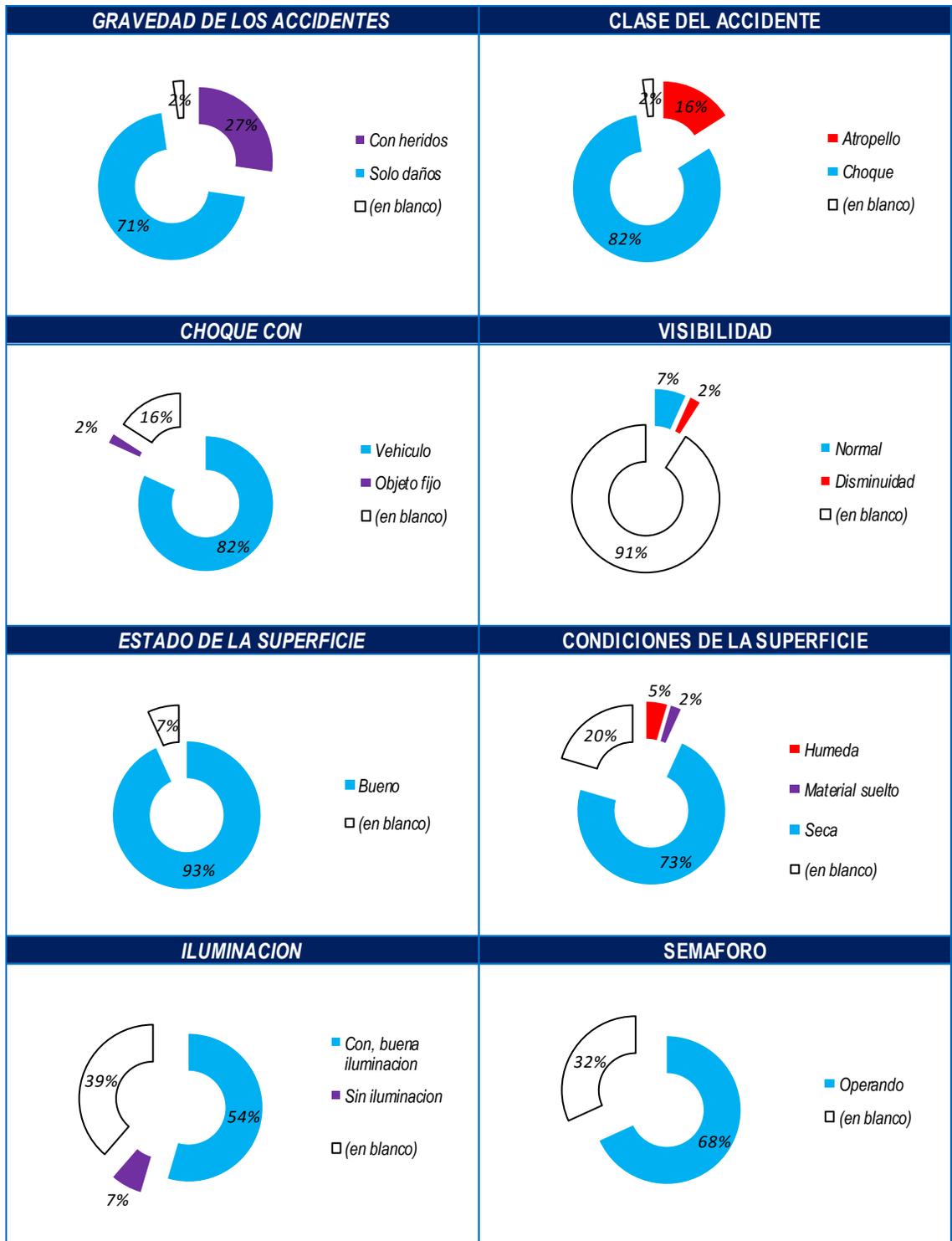
La tabla 21, 22 y 23 muestran las características más importantes de las intersecciones en estudio.

Tabla 21. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 37ª.



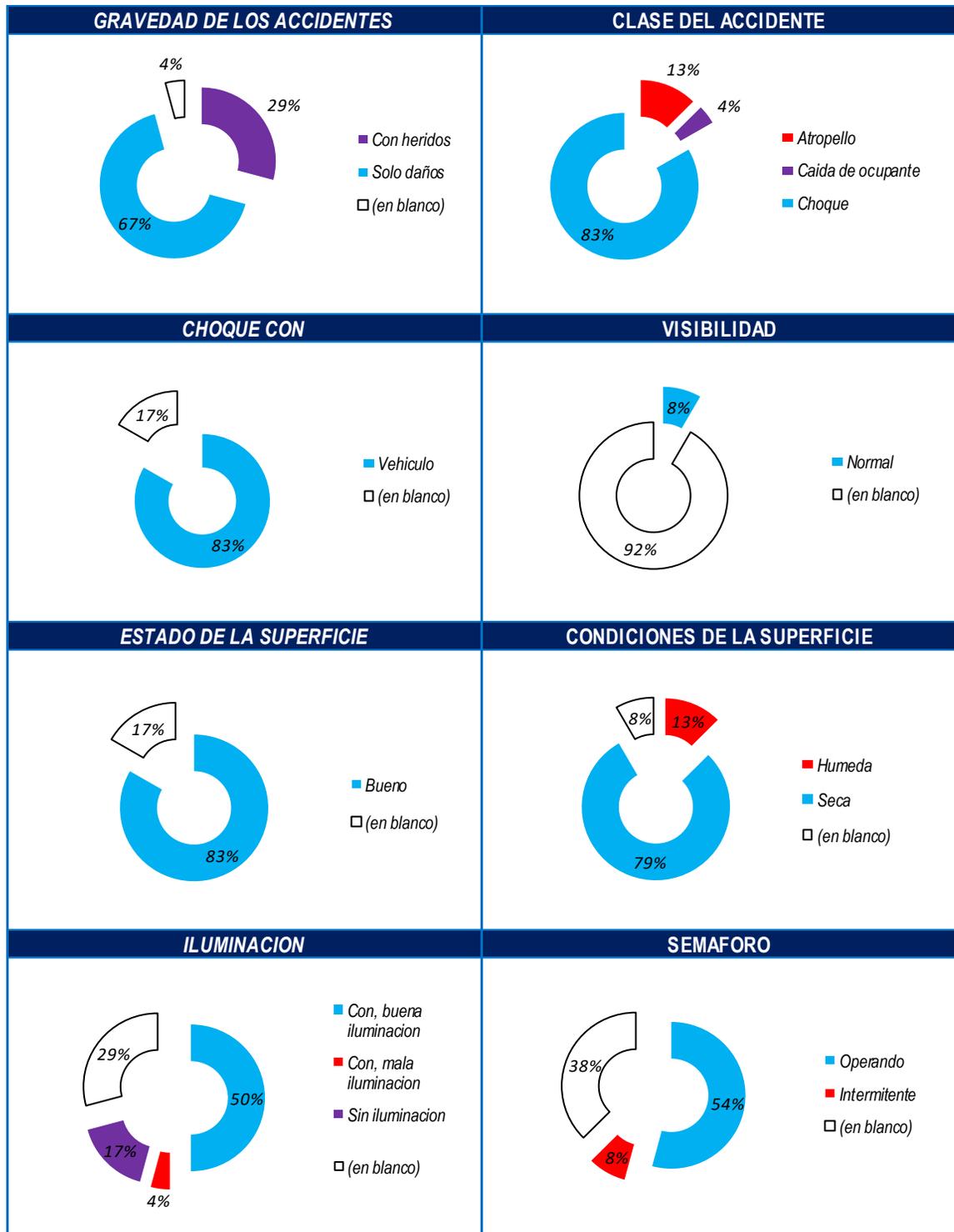
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23. Características de accidentalidad. Intersección de la Avenida norte con calle 53.



Fuente: Elaboración Propia.

4.6.3.1. Intersección de la avenida norte con calle 37ª. En relación con la tabla 22 de las características de la accidentalidad en la intersección de la avenida norte con calle 37ª, se puede observar que la clase de accidente que más prevalece en la intersección son los choques con un porcentaje del 95% y tan solo el 2% a los atropellos. En cuestión a la visibilidad, iluminación y los semáforos se puede encontrar que los accidentes generalmente se presentan una buena iluminación y los semáforos operando, sin establecerse la visibilidad ya que estos campos no han sido llenados por la autoridad encargada de levantar los accidentes, sin embargo se han presentado accidentes en horas de la noche cuando la visibilidad es mala y los semáforos están intermitentes. Por último, en lo concerniente al estado y condición de la superficie, los accidentes se presentan con 97% de estado bueno y condición seca en 92%.

4.6.3.2. Intersección de la avenida norte con calle 48. Para la zona de influencia de esta intersección se encontró que los accidentes en su mayor parte corresponden a choques entre vehículos, además de atropellos que tienen una influencia de 16% en los accidentes de esta intersección. Como ya se evidencio en la figura 42 los accidentes que provocan mayor cantidad de heridos son los atropellos, siendo un comportamiento de principal atención dentro de esta zona. Para las características de la intersección se puede observar que los accidentes se presentan generalmente con buen estado de la superficie, en condiciones secas, buena iluminación y semáforos operando. Aun cuando se presentan en un mayor porcentaje las anteriores características con se evidencia que hay accidentes una visibilidad disminuida y en presencia de material suelto, condiciones que fueron provocadas por el estacionamiento de vehículos al costado de la vía y material suelto proveniente del parqueadero Autopark.

4.6.3.3. Intersección de la avenida norte con calle 53. Una de las problemáticas que más afecta esta zona, es el porcentaje de heridos que se presenta, ya que en comparación de las tres intersecciones es la que mayor porcentaje de heridos tiene con un valor de 29%. En lo observado en la tabla 23, la gráfica de clase de accidente muestra que un porcentaje del 86% corresponde a la clase de choque y un 83% son choque entre vehículos. Aun así los accidentes por atropello no se deben dejar a un lado, como resultado de esta clase de accidente se obtiene que corresponda a un 13% del total de accidentes ocurridos.

Adicionalmente se presentan accidentes en las circunstancias de mala iluminación, como puede apreciarse en el numeral 4.1.6 donde la iluminación de la intersección no es muy buena, así mismo en la gráfica de semáforos, se presenta un total del 8% de los accidentes cuando el semáforo esta en intermitencia, es decir que un porcentaje de los accidentes se presentan en horas de la noche.

4.7. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

En las intersecciones, la capacidad se define como la intensidad de circulación máxima del grupo de carriles que puede circular por la intersección en las condiciones de tráfico, calzada y semaforización prevalecientes, se determina por separado para cada grupo de carriles que acceden a dicha intersección. Para el caso de las intersecciones reguladas por semáforos el nivel de servicio se define en términos de demora media de parada por vehículos para un período de análisis de 15 minutos, como medida de la satisfacción del conductor con el servicio prestado.

En la tabla 24 se muestra los criterios de nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforos, según el Manual de Capacidad de Carretera del 2010 (HCM).

Tabla 24. Criterios de nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforos, según el Manual de Capacidad de Carretera del 2010.

CONTROL DELAY (S/VEH)	LOS by volume-to-capacity ratio	
	≤ 1.0	> 1.0
≤ 10	A	F
$> 10-20$	B	F
$> 20-35$	C	F
$> 35-55$	D	F
$> 55-80$	E	F
> 80	F	F

Fuente: HCM 2010. Signalized intersections.

Nivel A: Representa una circulación a flujo libre. Caracteriza operaciones con muy poca demora, ocurre cuando el avance es extremadamente favorable y la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde no se detienen para nada. Los ciclos de corta duración también pueden contribuir a que la demora sea corta.

Nivel B: Flujo estable, aunque se observan otros vehículos integrantes en la circulación. Esto ocurre generalmente con una buena progresión, o con ciclos cortos, o con ambas situaciones a la vez. Se detienen más vehículos que con el nivel de servicio A, dando lugar a niveles superiores de demora media.

Nivel C: Flujo estable. La facilidad de maniobra comienza a ser restringida y la velocidad se afecta por otros vehículos. Estas demoras más prolongadas pueden

deberse a una progresión de mediana calidad, ciclos más prolongados o a ambas circunstancias. En este nivel es posible que se empiece a producir una falta de capacidad en algún ciclo individualizado. El número de vehículos que se detienen es significativo aunque muchos atraviesan todavía la intersección sin detenerse.

Nivel D: La velocidad y facilidad de maniobra se ven seriamente restringidas. Se hace más notable la influencia de la congestión. Se producen demoras más prolongadas debidas a alguna combinación de progresión desfavorable. Muchos vehículos se detienen y la proporción de vehículos que no se detienen disminuye. Son notorias las faltas de capacidad en ciclos individuales.

Nivel E: El funcionamiento se encuentra cerca del límite de la capacidad. Muchos organismos consideran a este nivel como el límite de la demora aceptable. Estos altos valores de demora generalmente indican un avance lento, largas duraciones de ciclo. En algunos ciclos individuales se presenta con frecuencia una insuficiencia de capacidad.

Nivel F: Son condiciones de flujo forzado. (Congestión). Es considerado inaceptable por la mayoría de los conductores y suele presentarse cuando existe una sobresaturación, es decir, cuando las intensidades de circulación de llegada superan la capacidad de la intersección. Las causas fundamentales de unos niveles de demora tan elevados pueden ser una progresión deficiente y duraciones de ciclo prolongadas.

4.7.1. Modelación y programación semafórica de las intersecciones. Para proporcionar soluciones rápidas y concretas respecto a la movilidad de las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), fue necesario efectuar evaluaciones de la operación, mediante modelación y simulación, lo que es posible con ayuda de herramientas computacionales, como lo es Synchro Studio 8, el cual es un modelo completo para realizar análisis de optimización de dispositivos semafóricos de tránsito. Este software tiene implementados los métodos disponibles del highway capacity manual (HCM 2010), permitiendo realizar la optimización de la longitud de los ciclos y desfases en una red vial sin necesidad de hacer múltiples análisis. Ya que Synchro Studio 9 presenta una interfaz sencilla para la entrada de datos y presentación de resultados que son fácilmente visualizados, se procedió a ingresar los datos tomados en los capítulos 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 de cada una de las intersecciones en estudio.

4.7.2. Resultados de la modelación en Synchro Studio 9. A continuación se muestran las tablas resumen de las condiciones operación actual de las intersecciones, las cuales servirán de base para observar el impacto de las operaciones proporcionado por las medidas de mitigación de accidentes.

Tabla 25. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 37^a.

RESUMEN DE LA INTERSECCION			
<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>	
<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		105	
<i>Demora en la intersección (s)</i>		70.7	
<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		81.9	
<i>Nivel de servicio</i>		E	
RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
<i>Acceso norte</i>	E	59.7	222.0
<i>Acceso sur</i>	E	60.0	214.8
<i>Acceso este</i>	F	201.2	101.1
<i>Acceso oeste</i>	E	62.5	69.8

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la modelación en Synchro Studio 9, la intersección de la avenida norte con calle 37^a se encuentra en un nivel de servicio E y un grado de utilización de 81.9%, es decir que la intersección se encuentra en un estado próximo a la capacidad. Como se aprecia en la tabla 25 el acceso que mayor presenta problema es el acceso F, donde sus demoras superan los 200 segundos al solo contener un carril de salida y su bajo tiempo de verde para despejar la longitud total de cola.

Tabla 26. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 48.

RESUMEN DE LA INTERSECCION			
<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>	
<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		115	
<i>Demora en la intersección (s)</i>		202.4	
<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		90.3	
<i>Nivel de servicio</i>		F	
RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
<i>Acceso norte</i>	F	117.8	262.2
<i>Acceso sur</i>	F	266.7	177.2
<i>Acceso oeste</i>	F	238.4	184.4

Fuente: propia.

Tal como se ha visto en la tabla 26, la intersección de la avenida norte con calle 48 presenta una congestión en la hora de máxima demanda, exponiendo un nivel de servicio F, ya que todos sus accesos presentan demoras muy altas y longitudes de cola próximas a los 200 metros.

Tabla 27. Resultado de niveles de servicio y demoras. Intersección de la Avenida norte con calle 53.

RESUMEN DE LA INTERSECCION			
Tipo de control		<i>Predeterminado</i>	
Actual duración del ciclo (s)		120	
Demora en la intersección (s)		225.2	
Utilización de la capacidad de la intersección (%)		99.9	
Nivel de servicio		F	
RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
<i>Acceso norte</i>	<i>D</i>	37.2	126.4
<i>Acceso sur</i>	<i>F</i>	302.0	241.3
<i>Acceso este</i>	<i>A</i>	0.1	0.0
<i>Acceso oeste</i>	<i>A</i>	0.7	0.0
<i>Acceso noreste</i>	<i>F</i>	365.1	199.9

Fuente: propia.

Para el ultima intersección se encuentra en un grado de utilización del 99.9%, próxima a llegar a su capacidad total por la gran cantidad de movimientos que se presentan en ella y los conflictos que se generan al no tener dos de sus accesos semaforizados.

5. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

De por sí, los accidentes de tránsito son catalogados un serio problema de salud pública, debido a las muertes que causa, lesiones que genera y daños económicos producidos a nivel mundial. El presente capítulo tiene como finalidad identificar las posibles causas de accidentalidad en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)), con el propósito de eliminar o disminuir en medida de lo posible, los accidentes de circulación que ocurren en estas áreas.

El procedimiento descrito se basa en la información recolectada en el capítulo 4 (análisis de información) sobre características geométricas, señalización, volúmenes de tráfico, velocidades puntuales, accidentes, iluminación, operación, capacidad y niveles de servicio de las intersecciones a evaluar.

La identificación es el primer paso para mejorar la seguridad vial en un punto crítico de accidentalidad, donde se diagnosticara correctamente que tipo de problemas ocurren en las intersecciones en estudio, con el firme objetivo de elegir las medidas apropiadas. Para ello se correlaciono el análisis de accidentalidad con los demás datos tomados en campo, los cuales ayudan a definir claramente las preocupaciones de seguridad en las intersecciones. De acuerdo al manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones del instituto MAPFRE, los problemas que afectan en general los entornos urbanos se listan a continuación:

- Velocidades inadecuadas
- Estacionamiento indiscriminado
- Ausencia de visibilidad en intersecciones
- Demasiados movimientos permitidos
- Anchura insuficiente de las aceras
- Cruce de peatones por zonas inadecuadas
- Proximidad a las vías de parques y áreas recreativas infantiles
- Señalización deficiente
- Conflictos entre diferentes usuarios
- Equipamiento deficiente
- Parada de autobús
- Visibilidad nocturna
- Estrechamiento de vías con doble sentido de circulación

- Áreas restringidas – casco urbano
- Desorientación – señalización informativa urbana
- Movimientos de giro

5.1.1. Diagnóstico de los problemas en las intersecciones en estudio. Las tablas 28, 29 y 30 resume los problemas asociados con las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)). Los patrones de fallas y accidentes más frecuentes identificados en el capítulo 4.6 (análisis de accidentalidad) están correlacionados con posibles factores contribuyentes identificados mediante el análisis de otros factores de respaldo y evaluación de condiciones.

Tabla 28. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 37

TIPO DE ACCIDENTE	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
Por alcance	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades inadecuadas: se debe tener en cuenta que se presentaron velocidades hasta de 70KPH, situación que puede generar un accidente peligroso. (Capítulo 4.4.1). • Paradas de autobús: Uno de los problemas que afecta la operación en la intersección, es la parada constante de buses por las acciones de ascenso y descenso de pasajeros en lugares no regulados a pesar de existir zonas de paradero cercanas. (Capítulo 4.5.1) • Conflictos entre diferentes tipos de usuarios: Estos accidentes pueden ser provocados por el semáforo de esta intersección, ya que una de las desventajas que proporciona estos dispositivos, es el incremento de este tipo de accidentes, además de la imprudencia de los conductores al no respetar la distancia de seguridad. (Capítulo 4.6.1).
Atropello	<ul style="list-style-type: none"> • Cruce de peatones por zonas inadecuadas: Una de las conductas observadas por parte de los peatones es que no utilizan las demarcaciones y fases del semáforo para cruzar la carretera, condición que se ve muy constante hacia el lado de la UTPC y el centro comercial la sexta. (Capítulo 4.5.1). • Estacionamiento indiscriminado: Los coches estacionados sobre las aceras impiden el paso de los peatones obligándolos a circular por la calzada, entrando en conflicto con los vehículos a motor. (Capítulo 4.5.1). • Señalización deficiente: En cuanto a lo que se refiere a señales horizontales, se observó demarcaciones con un estado malo, debido al desgaste de la pintura sobre el pavimento sin identificarse claramente los lugares para paso de peatones. (Capítulo 4.1.3)
Lateral	<ul style="list-style-type: none"> • Conflictos entre diferentes tipos de usuarios: ya que el acceso occidente presenta falencias debido a que entran en conflicto los vehículos que viene del norte con los que llegan de la calle 37ª para realizar el movimiento en la intersección. (Capítulo 4.5.1). Estos accidentes suelen ser provocados por imprudencia de los conductores al querer adelantar vehículos que se desplazan a una menor velocidad o están estacionados sobre la vía. (Capítulo 4.6.1). • Visibilidad nocturna: Se han presentado accidentes en horas de la noche cuando la visibilidad es mala y los semáforos están intermitentes. (Capítulo 4.6.3).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 48.

TIPO DE ACCIDENTE	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
Por alcance	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades inadecuadas: Para el caso de la intersección de la avenida norte con calle 48, se observa que la velocidad de operación del acceso norte tiene un valor de 48.5 KPH, por consiguiente una velocidad alta al acercarse a la intersección. (Capítulo 4.4.2). • Conflictos entre diferentes tipos de usuarios: Estos accidentes pueden ser provocados por el semáforo de esta intersección, ya que una de las desventajas que proporciona estos dispositivos, es el incremento de este tipo de accidentes, además de la imprudencia de los conductores al no respetar la distancia de seguridad. (Capítulo 4.6.1).
Atropello	<ul style="list-style-type: none"> • Cruce de peatones por zonas inadecuadas: Paso de peatones por lugares inadecuados sobre la avenida norte especialmente al frente del centro comercial centro norte a pesar de la cercanía del paso controlado. (Capítulo 4.5.2). • Estacionamiento indiscriminado: Parqueo en la zona cercana de la intersección a pesar de la señalización SR-28a ubicada sobre la avenida norte. Se ubican vehículos sobre las aceras por parte de algunos establecimientos como venta de carros. (Capítulo 4.5.2). • Señalización deficiente: En cuanto a lo que se refiere a señales horizontales, se observó demarcaciones con un estado malo, debido al desgaste de la pintura sobre el pavimento sin identificarse claramente los lugares para paso de peatones.
Lateral	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos de giro: El giro en u desde el acceso sur es dificultoso, debido al poco radio de giro que los vehículos poseen para realizar este movimiento, especialmente para los vehículos pesados. (Capítulo 4.5.2) • Estacionamiento indiscriminado: Se evidencia que hay accidentes una visibilidad disminuida, condiciones que fueron provocadas por el estacionamiento de vehículos al costado de la vía. (Capítulo 4.6.3) • Conflictos entre diferentes tipos de usuarios: Estos accidentes suelen ser provocados por imprudencia de los conductores al querer adelantar vehículos que se desplazan a una menor velocidad o están estacionados sobre la vía. (Capítulo 4.6.1).
Por giro	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos de giro: El giro en u desde el acceso sur es dificultoso, debido al poco radio de giro que los vehículos poseen para realizar este movimiento, especialmente para los vehículos pesados. (Capítulo 4.5.2)

Elaboración propia.

Tabla 30. Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 53.

TIPO DE ACCIDENTE	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
Por alcance	<ul style="list-style-type: none"> • Señalización deficiente: la Toyota" es la que presenta menor cantidad de señales verticales en un radio de 100 metros, solo observándose dos (2) señales de tipo reglamentaria. (Capítulo 4.1.3) • Velocidades inadecuadas: La velocidad de operación de los accesos sur y norte, tienen una velocidad alta de aproximación a la intersección. (Capítulo 4.4.3) • Conflictos entre diferentes tipos de usuarios: ser provocados por el mismo tipo de control y la imprudencia de los conductores que frecuentan la zona al no respetar la distancia de seguridad entre vehículos.

Elaboración propia.

Tabla 30. (Continuación) Identificación de problemas. Intersección de la Av. norte con calle 53.

TIPO DE ACCIDENTE	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
Atropello	<ul style="list-style-type: none"> • Cruce de peatones por zonas inadecuadas: Paso de peatones por lugares inadecuados en diferentes zonas de la intersección. (Capítulo 4.5.3). • Estacionamiento indiscriminado: Parqueo de vehículos en diferentes zonas de la intersección como aceras y accesos. (Capítulo 4.5.3). • Velocidades inadecuadas: La velocidad de operación de los accesos sur y norte, tienen una velocidad alta de aproximación a la intersección. (Capítulo 4.4.3) • Señalización deficiente: En lo referente a señales horizontales se evidenciaron en un estado bastante deteriorado, sin identificarse claramente los pasos peatonales. (Capítulo 4.1.3)
Lateral	<ul style="list-style-type: none"> • Demasiados movimientos permitidos: La intersección está controlada por semáforos predeterminados, con un total de 5 fases para los vehículos y tres fases para los peatones. A pesar de ello dos de los accesos (este y oeste) no están controlados por fases semafóricas. (Capítulo 4.1.4) • Señalización deficiente: Se realizan maniobras peligrosas desde los accesos este y oeste, ya que no están semaforizados, ni se especifican los movimientos permitidos por estos accesos. (Capítulo 4.5.3)
Por giro	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos de giro: Los giros en U son dificultosos tanto para vehículos particulares como del sector público, sobre los carriles exclusivos para giro a la izquierda en la Avenida norte. (Capítulo 4.5.3) • Señalización deficiente: Se realizan maniobras peligrosas desde los accesos este y oeste, ya que no están semaforizados, ni se especifican los movimientos permitidos por estos accesos. (Capítulo 4.5.3) • Visibilidad nocturna: el acceso oeste presenta poca iluminación ya que a pesar de haber postes cerca al acceso, ningún poste contiene lámparas de iluminación, adicionalmente debido al gran espacio que tiene la intersección las luminarias no son suficientes para dar una iluminación clara de los componentes de la intersección, provocando un riesgo inminente en horas nocturnas y de flujo bajo de vehículos. (Capítulo 4.1.6). Adicionalmente se presentan accidentes en las circunstancias de mala iluminación (Capítulo 4.6.3). • Equipamiento deficiente: Así mismo en la gráfica de semáforos, se presenta un total del 8% de los accidentes cuando el semáforo está en intermitencia. (Capítulo 4.6.3). • Demasiados movimientos permitidos: La intersección está controlada por semáforos predeterminados, con un total de 5 fases para los vehículos y tres fases para los peatones. A pesar de ello dos de los accesos (este y oeste) no están controlados por fases semafóricas. (Capítulo 4.1.4)

Elaboración propia.

Cabe aclarar que los tipos accidentes que se enunciaron en la tabla 28, 29 y 30 corresponden a accidentes que presentaron una gravedad con heridos y son de vital importancia atacar con medidas de mitigación.

6. PROPUESTA Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Una de las tareas más importantes a desarrollar por los ingenieros de tránsito es la identificación y elección de alternativas adecuadas a las necesidades en diferentes situaciones, por ello en este capítulo se valoraron una serie de posibles medidas correctoras, partiendo de los factores de riesgo detectados, accidentes predominantes en la intersección y medidas implementadas en otros lugares del mundo. En este propósito, se establecieron los principales lineamientos a seguir para la generación de las medidas de mejoramiento de acuerdo a Rascón³³

- Determinar o definir una serie de medidas que puedan influir en los accidentes dominantes y las características de la vía.
- Seleccionar medidas que, de acuerdo con la experiencia, se espera reduzcan el número y la severidad (gravedad) de los accidentes de tipo dominante.
- Revisar que estas medidas no tengan consecuencias indeseables en la seguridad ni en la eficiencia del tránsito, o en términos ambientales; por ejemplo, si se recomienda controlar o disminuir la velocidad en algún punto, que esta medida no provoque accidentes por alcance.
- Considerar la rentabilidad de las medidas, buscando que los beneficios se maximicen.
- Que sean eficientes, es decir, que produzcan beneficios que compensen los costos.

Además se debe tener en cuenta que un diseño de vía adecuado a las realidades y limitaciones del ser humano al tomar decisiones, permite proporcionar un ambiente seguro para los usuarios, satisfaciendo así sus diferentes necesidades al transitar una carretera.

6.1. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Siguiendo el orden de ideas, se consultó las diferentes medidas recomendadas e implementadas en otros lugares de mundo, con el fin de disminuir la frecuencia o gravedad de los choques identificados en el capítulo 4.6 y los problemas identificados en el capítulo 5, que afectan la seguridad de las intersecciones en

³³ RASCON, O. MENDOZA, A. MAYORAL, E. 2007. Tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes en carreteras Mexicanas. México.

estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)).

Con el fin de elegir las mejores soluciones para las intersecciones en estudio, se consultó diferentes documentos referentes a tratamientos de puntos críticos de accidentalidad, donde se establecen los accidentes o problemas que afectan la seguridad vial en cuanto a infraestructura.

A continuación se presentan los documentos consultados sobre tratamientos de los puntos críticos de accidentalidad:

- Safety at Signalized Intersections. (U.S.A)³⁴
- Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones. (Lorca, España)³⁵
- Guide road safety (Sydney, Australia)³⁶

En relación a la identificación del problema de cada una de las intersecciones en estudio, se enunciaron las medidas propuestas por cada documento, teniendo en cuenta sus beneficios, costos y efectividad de las medidas, con el objetivo de comparar los tratamientos y elegir la medida más adecuada para eliminar o disminuir los accidentes de tránsito.

Luego de identificar los principales problemas contenidos en el capítulo 5, se eligieron las posibles medidas a implementar en las intersecciones en estudio, recomendadas por Safety at Signalized Intersections, Guide road safety y Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones

En la tabla 31 se expone la comparación de medidas de acuerdo a su similitud, problemas que ataca, accidentes que reducen y el costo de cada una de ellas.

³⁴ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections. Second Edition. Washington. July 2013.

³⁵ INSTITUTO MAPFRE DE SEGURIDAD VIAL. Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones. Lorca, España.

³⁶ AUSTRROADS INCORPORATED. Guide to Road Safety, Part 8: Treatment of Crash Locations. Sydney, Australia. January 2009.

Tabla 31. Comparación de medidas de mitigación.

MEDIDAS DE SOLUCION	PROBLEMA	TRATAMIENTOS PARA PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD			REDUCCION DE ACCIDENTES	COSTO
		U.S.A	AUSTRALIA	ESPAÑA		
AS-01	Control del tráfico inadecuado	Cambie el control de señal de predeterminado ha actuado	Revisión de operación de semáforos		Por alcance	Alto
AS-02	Control del tráfico inadecuado	Modificar la fase peatonal			Atropellos (relacionados con peatones)	Bajo
AS-03	Control del tráfico inadecuado	Coordinación de las señales			Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-04	Visibilidad	Mejorar las pantallas de la fase peatonal	Mejoras en la visibilidad de la pantalla del semáforo		Atropellos (relacionados con peatones)	Bajo
AS-05	Visibilidad	Aumentar el número de cabezas de señal			Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Alto
AS-06	Visibilidad	Cruces de alta visibilidad	Mejoras de distancia de mira: intersecciones		Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Alto-Medio-Bajo
AS-07	Señalización deficiente		Mejoras en la demarcación		Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-08	Velocidades inadecuadas	Reducir la velocidad de operación	Señales de advertencia		Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-09	Velocidades inadecuadas			Estrechamiento	Atropellos y por alcance	Bajo
AS-10	Velocidades inadecuadas			Franjas transversales	Atropellos	Bajo
AS-11	Conflicto entre vehículos motorizados y peatones	Reducción del radio de la acera			Atropellos	Medio
AS-12	Conflicto entre vehículos motorizados y peatones	Extender bordillos	Extender bordillos	Refugios peatonales	Atropellos (relacionados con peatones)	Medio

Fuente: Elaboración a partir de los documentos safety at signalized intersections, guide road safety y manual de seguridad vial para entornos urbanos

Tabla 31. (Continuación) Comparación de medidas de mitigación.

MEDIDAS DE SOLUCION	PROBLEMA	TRATAMIENTOS PARA PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD			REDUCCION DE ACCIDENTES	COSTO
		U.S.A	AUSTRALIA	ESPAÑA		
AS-13	Conflicto entre vehículos motorizados y peatones	Separación del flujo peatonal	Separación del flujo peatonal	Pasarela peatonal	Atropellos (relacionados con peatones)	Alto
AS-14	Cruce de peatones por zonas inadecuadas		Cercado peatonal	Valla peatonal	Atropellos (relacionados con peatones)	Bajo
AS-15	Conflicto entre vehículos motorizados y bicicletas	Proporcionar carriles para bicicletas	Instalaciones para bicicletas: en carretera	Carril bici adyacente	Atropellos (relacionados con bicicletas)	Medio
AS-16	Conflicto entre vehículos motorizados y bicicletas		Instalaciones para bicicletas: fuera de la carretera	Carril de bici segregado	Atropellos	Alto
AS-17	Estacionamiento indiscriminado		Prohibiciones de estacionamiento	Control del aparcamiento	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-18	Estacionamiento indiscriminado			Bolardos	Atropellos	Bajo
AS-19	Derrape de vehículos	Mejora la superficie del pavimento	Mejoras de resistencia al patinazo	Pavimento con textura diferente	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Medio
AS-20	Movimientos de giro	Restricción de Giros, Giros en U	Prohibición de giros	Prohibición de giro	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-21	Visibilidad nocturna	Proporcionar o actualizar la iluminación	Alumbrado publico	Iluminación artificial	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Alto
AS-22	Varios	Gestión del acceso	Islas Splitter	Mediana pintada	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-23	Varios			Canalización	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Bajo
AS-24	Varios	Convertir la intersección señalizada en una rotonda	Rotondas	Glorieta	Varios (atropello, por alcance, por giro, ángulo)	Alto

Fuente: Elaboración a partir de los documentos safety at signalized intersections, guide road safety y manual de seguridad vial para entornos urbanos

6.2. SELECCIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Antes de realizar la evolución económica, fue necesario reducir la lista de medidas propuestas, con el objetivo de determinar rápidamente qué medidas se espera que tengan un efecto positivo o negativo en las intersecciones en estudio. De acuerdo a Ogden³⁷ existen varios criterios para la selección de medidas, los cuales se enuncian a continuación:

- **Viabilidad técnica:** ¿puede la medida proporcionar una respuesta a los problemas de seguridad que se han diagnosticado y tiene una base técnica para el éxito?
- **Factibilidad general:** ¿Qué tan factible sería implementar la medida?, ¿No implicaría una cantidad significativa de trabajo, tiempo y / o coordinación con la policía, el personal de mantenimiento, los planificadores de transporte o el público?
- **Eficiencia económica:** ¿es probable que la medida sea rentable y produzca beneficios que excedan sus costos?
- **Impacto de las operaciones de tránsito:** ¿se espera que la medida mejore la operación dentro del área de influencia de intersección?
- **Aceptabilidad:** ¿la medida apunta claramente al problema identificado y será fácilmente comprensible para la comunidad?
- **Compatibilidad:** ¿es la medida compatible y consistente con otras estrategias, ya sea en la misma localidad o que se han aplicado en situaciones similares en otros lugares?
- **Asequibilidad:** se puede acomodar dentro del presupuesto del programa; de no ser así, ¿debería diferirse o debería adoptarse una solución más barata y tal vez provisional?
- **Conformidad legal:** ¿es la medida un dispositivo legal, o los usuarios estarán infringiendo alguna ley al usarla de la manera prevista?
- **Aceptabilidad política e institucional:** ¿es probable que la medida atraiga apoyo político y contará con el respaldo de la organización responsable de su instalación y su continuo desarrollo?

Para poder seleccionar las medidas de mitigación de accidentes adecuadas para cada una de las intersecciones en estudio, se elaboró una lista de chequeo en las que se responde las preguntas de los criterios planteados de acuerdo a las medidas propuestas anteriormente. La tabla 32 presenta la lista de chequeo para la selección de las medidas de mitigación de accidentes en las intersecciones en estudio.

³⁷ Ogden, KW 1996, Safer roads: a guide to road safety engineering, Avebury, London, UK.

Tabla 32. Lista de chequeo para la selección de medidas de mitigación. A corto plazo.

ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD	VIABILIDAD TECNICA	FACTIBILIDAD GENERAL	EFICIENCIA ECONOMICA	IMPACTO DE LAS OPERACIONES DE TRAFICO	ACEPTABILIDAD	COMPATIBILIDAD	ASEQUIBILIDAD	CONFORMIDAD LEGAL	ACEPTABILIDAD POLITICA E INSTITUCIONAL	
AS-01	X	✓	X	✓	X	X	X	✓	✓	
AS-02	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-05	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
AS-06	✓	X	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
AS-07	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-08	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-09	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-10	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	
AS-11	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	
AS-12	✓	X	X	X	X	X	X	✓	✓	
AS-13	X	X	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
AS-14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-15	✓	✓	X	X	X	X	X	X	✓	
AS-16	✓	X	X	✓	X	✓	X	X	✓	
AS-17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-19	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
AS-20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-21	✓	X	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
AS-22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AS-24	✓	X	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	
Convenciones:		✓	Si cumple con el criterio			X	No cumple con el criterio			

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas que se tomaran en cuenta ya que cumplen con todos los criterios de selección según Odgen se listan a continuación en la tabla 33.

Tabla 33. Medidas seleccionadas mediante las listas de chequeo.

TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	<i>El principal beneficio de una revisión puede ser la capacidad de respuesta mejorada de las señales a las condiciones actuales del tráfico. A medida que la operación de las señales se hace más confiable, debe haber una menor ocurrencia de cola, frenado repentino, bloqueo de la intersección y de que los vehículos enciendan rojo. Dichas reducciones en los patrones de tráfico no deseados conducen a un menor riesgo de un rango de bloqueos de intersecciones.</i>	N/A
AS-04: Mejoras en la visibilidad de la pantalla de los semáforos	<i>Las mejoras de visibilidad de señal tienen los siguientes beneficios: ayudar a los conductores a ver las pantallas de señal más temprano, aumentando así el tiempo disponible para cumplir con su mensaje. Mejorar el cumplimiento general de los mensajes de señal. Aumentar la distancia efectiva de visión a las señales de tráfico. Aumentar la presencia visual de toda la intersección. Reducir las consecuencias de conducir contra el sol.</i>	<i>A menudo en sitios de señales de tráfico más antiguos, un pequeño cambio en un elemento del hardware puede requerir cambios consecuentes en todo el sitio, aumentando así los costos más allá del presupuesto original (por ejemplo, re-cableado del sitio, nuevos conductos, actualizaciones del controlador).</i>
AS-07: Mejoras en la demarcación	<i>Una delineación más clara a través de secciones de carreteras e intersecciones que da como resultado respuestas mejoradas (más intuitivas) del conductor al entorno vial. Reducción en el riesgo de error del conductor a través de un mejor posicionamiento de los vehículos entre sí y las características de la carretera. Ambigüedad reducida de la ruta de viaje.</i>	<i>Estas características deben usarse con precaución debido a la posibilidad de que los motociclistas y ciclistas pierdan el control cuando viajan sobre ellos.</i>
AS-08: Señales de advertencia	<i>Las señales de advertencia brindan los siguientes beneficios: proporciona una advertencia previa de un peligro para un automovilista. Aumenta la vigilancia del conductor en lugares peligrosos. Bajo costo de instalación. Puede reducir la velocidad del vehículo. Transmite un significado simple claro para el automovilista.</i>	N/A
AS-14: Cercado peatonal	<i>Algunos de los beneficios clave asociados con este tratamiento incluyen: reducir los conflictos vehiculares / peatonales alentar a los peatones a cruzar en lugares designados más seguros.</i>	<i>Las cercas deben considerarse como un último recurso debido a las restricciones que impone a los peatones. La comunidad local puede eventualmente solicitar su remoción, especialmente si existen soluciones alternativas factibles.</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de guide road safety

Tabla 33. (Continuación) Medidas seleccionadas mediante las listas de chequeo.

TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AS-17: Prohibiciones de estacionamiento	<i>La eliminación de una sección corta de estacionamiento cerca de un paso de peatones significa que es menos probable que los peatones queden obstruidos por los vehículos estacionarios al cruzar la carretera. Esto reduce la probabilidad de accidentes peatonales. reducción de accidentes peatonales en un 20%</i>	<i>La eliminación de estacionamiento en áreas comerciales y residenciales es probable que tenga un impacto negativo en las empresas y servicios locales.</i>
AS-18: Bolardos	<i>Impiden el aparcamiento sobre las aceras facilitando el tráfico peatonal</i>	<i>En zonas poco iluminadas pueden resultar un obstáculo</i>
AS-20: Prohibición de giros	<i>La oportunidad de cambiar el conflicto del vehículo se reduce sustancialmente.</i>	<i>Para asegurar que el problema no se transfiera a otro lado se debe acometer un paquete de medidas para manejar estas maniobras de forma segura.</i>
AS-22, AS-23: Islas Splitter	<i>Algunos de los beneficios clave asociados con este tratamiento incluyen: creando un refugio para los peatones que cruzan la carretera, y así reduciendo la probabilidad de choques peatonales / de vehículos. Reduciendo la probabilidad de accidentes en las intersecciones al separar los movimientos opuestos. Reduciendo el enfoque y las velocidades de giro en las intersecciones. Dirigir vehículos en caminos apropiados y posiciones dentro de intersecciones. Proporcionar espacio para la instalación de elementos de control de tráfico en una ubicación claramente visible, p. Señales de alto reduciendo los ángulos de conflicto entre los vehículos y el área de conflicto dentro de las intersecciones.</i>	<i>Las islas divisorias en las intersecciones pueden afectar el acceso a la derecha de las entradas de autos cercanas. Esto debe tomarse en consideración y discutirse con los residentes locales.</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de guide road safety

Con el fin de poder atacar los principales problemas presentados en el capítulo 5 para las intersecciones en estudio y elegir las medidas más adecuadas para cada una de ellas, se realizó un comité evaluación con varios profesionales de la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja. Este comité se realizó con el fin de establecer varios puntos de vista de acuerdo a la experiencia de cada uno de los profesionales, en miras a evaluar las intersecciones en estudio, no solamente desde el punto de la seguridad vial, sino también de la operación, características geométricas y usos del suelo. En las tablas 34, 35 y 36 se muestran los tratamientos propuestos por los profesionales de la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja, basándose a su respectiva experiencia y conocimiento del comportamiento de las intersecciones en estudio.

Tabla 34. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 37ª.

TIPO DE ACCIDENTE	PROBLEMA	MEDIDA
POR ALCANCE	<i>Velocidades inadecuadas</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Paradas de bus</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Revisión de operación de semáforos</i>
ATROPELLO	<i>Cruce de peatones por lugares inadecuados</i>	<i>Cercado peatonal</i>
	<i>Estacionamiento indiscriminado</i>	<i>Prohibiciones del estacionamiento y bolardos</i>
	<i>Señalización deficiente</i>	<i>Mejoras en la demarcación</i>
LATERAL	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Prohibiciones de giro e islas splitter.</i>
	<i>visibilidad nocturna</i>	<i>Revisión de operación de semáforos</i>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 48.

TIPO DE ACCIDENTE	PROBLEMA	MEDIDA
POR ALCANCE	<i>Velocidades inadecuadas</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Revisión de operación de semáforos</i>
ATROPELLO	<i>Cruce de peatones por lugares inadecuados</i>	<i>Cercado peatonal</i>
	<i>Estacionamiento indiscriminado</i>	<i>Prohibiciones del estacionamiento y bolardos</i>
	<i>Señalización deficiente</i>	<i>Mejoras en la demarcación</i>
LATERAL	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Islas splitter</i>
	<i>Estacionamiento indiscriminado</i>	<i>Prohibiciones del estacionamiento y bolardos</i>
POR GIRO	<i>Movimientos de giro</i>	<i>Prohibición de giros</i>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Medidas propuestas para la intersección de la Av. norte con calle 53.

TIPO DE ACCIDENTE	PROBLEMA	MEDIDA
POR ALCANCE	<i>Señalización deficiente</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Velocidades inadecuadas</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Revisión de operación de semáforos</i>
ATROPELLO	<i>Cruce de peatones por lugares inadecuados</i>	<i>Cercado peatonal</i>
	<i>Velocidades inadecuadas</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>Señalización deficiente</i>	<i>Mejoras en la demarcación</i>
LATERAL	<i>Demasiados movimientos permitidos</i>	<i>Prohibición de giros</i>
	<i>Conflictos entre diferentes tipo de usuarios</i>	<i>Islas splitter</i>
	<i>Estacionamiento indiscriminado</i>	<i>Prohibiciones del estacionamiento y bolardos</i>
POR GIRO	<i>Movimientos de giro</i>	<i>Prohibición de giros</i>
	<i>señalización deficiente</i>	<i>Señales de advertencia.</i>
	<i>equipamiento deficiente</i>	<i>Revisión de operación de semáforos</i>
	<i>Demasiados movimientos permitidos</i>	<i>Prohibición de giros</i>

Fuente: Elaboración propia.

7. PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS DE SOLUCIÓN

La base para priorizar es tener estimaciones de los beneficios de diferentes medidas de mitigación propuestas. Por lo tanto, es esencial hacer pronósticos del resultado del accidente y la lesión si se aplica una determinada medida. Estas previsiones deben basarse en el conocimiento de los factores de reducción de diferentes medidas. Este conocimiento se construye mejor a partir de la investigación y el seguimiento de los resultados de diferentes lugares donde se han aplicado las medidas.

Desarrollar el conocimiento tomará muchos años y se requiere una base de datos confiable, mientras tanto, es necesario tener una cierta comprensión de los factores de reducción esperados. Esto se puede lograr utilizando la investigación y el desarrollo de otros países y ajustándose a las condiciones locales. Aplicar la misma medida en diferentes lugares puede dar resultados diferentes, una razón es que no hay dos lugares que sean exactamente lo mismo y otra razón es que la fluctuación aleatoria en el número de accidentes y lesiones puede dar resultados diferentes.

Sin embargo, no es seguro que todos estos valores sean aplicables a las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)) ya que existen varios motivos por los cuales algunos de los factores de reducción podrían ser diferentes en Colombia. No obstante, las estimaciones dadas podrían formar una base para calcular las estimaciones locales de Tunja.

Para este caso se tuvo en cuenta la base de datos del AUSTROROADS “*Road safety engineering toolkit*”³⁸, la cual es una herramienta de ingeniería de seguridad vial de referencia para los profesionales de la ingeniería vial en los gobiernos estatales y locales de Australia. Describe las mejores prácticas, el costo y las medidas de alto rendimiento del entorno vial para lograr una reducción la severidad y frecuencia de los accidentes que involucran factores del entorno vial. La información incluida en el road safety engineering toolkit se basa en una amplia investigación sobre la efectividad de las medidas de accidentes y el conocimiento presentado ha sido actualizado con la experiencia reciente de agencias

³⁸ AUSTROROADS. Road safety engineering toolkit. [en línea]. < <http://www.engtoolkit.com.au/>>. [citado en 1 de noviembre del 2017]

gubernamentales locales y estatales, y con los resultados de revisiones exhaustivas de investigación de seguridad vial.

A continuación en la tabla 37 se presentan las medidas seleccionadas y sus respectivos factores de reducción.

Tabla 37. Factores de reducción de las medidas de mitigación de accidentes

ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA PUNTOS CRITICOS DE ACCIDENTALIDAD	FACTORES DE REDUCCION DE ACCIDENTES	VIDA DEL TRATAMIENTO
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	Los factores de reducción se relacionan con todos los accidentes de choque: 55% para las fases modificadas (orden, longitud)	1 A 5 AÑOS
AS-07: Mejoras en la demarcación	Los factores de reducción se relacionan con todos los accidentes de choque: 30%- mejora de las líneas	1 A 5 AÑOS
AS-08: Señales de advertencia	Los factores de reducción se relacionan con todos los accidentes de choque: 40% - Señales de advertencia de velocidad 15% - Señales de orientación 20% - Señales de mensajes variables	5 A 10 AÑOS
AS-14: Cercado peatonal	Reducción en 20 % de los choques con peatones	MAS DE 10 AÑOS
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos	20% en todos los accidentes de choque	5 A 10 AÑOS
AS-20: Prohibición de giros	Los factores de reducción se relacionan con todos los accidentes: 60% en la instalación de la prohibición de giro	5 A 10 AÑOS
AS-22, AS-23: Islas Splitter	Los factores de reducción se relacionan con todos los accidentes: 30% de reducción para la instalación de la canalización	MAS DE 10 AÑOS

Fuente: Elaboración propia a partir del road safety engineering toolkit.

Otra forma de aplicación de las medidas de mitigación de los accidentes de tránsito y que a menudo ocurre en diversos lugares, es la aplicación de múltiples medidas. Una forma de calcular la reducción de accidentes acumulado de varios tratamientos, según el guide road safety³⁹, se muestra a continuación:

$$CRF_t = 1 - (1 - CRF_1)(1 - CRF_2)(1 - CRF_3) \dots$$

- **CRF_t**: reducción total de accidentes
- **CRF_x**: reducción por cada medida

³⁹ AUSTROADS INCORPORATED. Guide to Road Safety, Part 8: Treatment of Crash Locations. Sydney, Australia. January 2009. p.82

7.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Uno de los capítulos más importantes en la selección de medidas de mitigación de accidentes de tránsito, es la evaluación económica, por sobre todo la cuantificación de los beneficios que pueden proporcionar las medidas en términos de impacto de seguridad para las mejoras de una intersección. Para hacer efectiva esta evaluación se necesita tener información sobre la reducción de accidentes de tránsito provocado por las medidas, costo de cada una de ellas y el beneficio proporcionado por las medidas.

7.1.1. Estimación de los beneficios de las medidas. El beneficio objetivo de cualquier medida de mitigación es una reducción en la frecuencia o gravedad de los accidentes. Las suposiciones con respecto al beneficio potencial de una medida deben ser realistas. Para poder estimarlos beneficios de las medidas de mitigación de accidentes de tránsito, se debe determinar la reducción de colisiones estimada que se conectará con la implementación de la medida. Si una medida tiene éxito en la eliminación o reducción de la gravedad de los accidentes que se habrían esperado sin la medida, entonces los beneficios se pueden atribuir a ella.

De acuerdo al safety at signalized intersections el cálculo del beneficio⁴⁰ se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Beneficio de la seguridad} = \Delta n_{PDO} \times C_{PDO} + \Delta n_I \times C_I + \Delta n_F \times C_F$$

- Δn_{PDO} : Reducción esperada en accidentes de solo daños
- C_{PDO} : Costos sociales de accidentes de solo daños
- Δn_I : reducción prevista de accidentes con lesiones
- C_I : Costos sociales por accidentes de lesiones
- Δn_F : Reducción esperada de accidentes mortales
- C_F : Costos sociales de accidentes mortales.

Ya que los costos sociales para cada país son diferentes, en el caso colombiano ha habido algunas aproximaciones a una valoración propia, entre las que se señalan un estudio de la Universidad Nacional de los años 90s que cuantificó a precios de mercado la accidentalidad en la ciudad de Bogotá y que ha sido

⁴⁰ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: safety analysis methods. Second Edition. Washington, July 2013. p. 33

referida en un documento sobre metodologías de evaluación preparado para el DNP (Acevedo J. e., 2003)⁴¹. La tabla 38 presenta el valor de la accidentalidad para Colombia.

Tabla 38. Valor de la accidentalidad por renta per-cápita para Colombia. Año 2011.

GRAVEDAD DEL ACCIDENTE		VALOR (Millones \$)
Muerto		680
Herido	<i>Grave</i>	90.6
	<i>Leve</i>	6.8
Daños materiales		0.3

Fuente: Convenio interadministrativo No. 010 de 2012. Evaluación económica y social.

Para poder comparar los valores de accidentalidad con los costos de cada medida para el presente año, se realizó un ajuste a estos valores mediante la fórmula de valor futuro, tomando como tasa de interés la inflación promedio anual del país.

La fórmula de valor futuro se muestra a continuación:

$$CF = CI (1 + i)^n$$

- *CF: Capital final*
- *CI: Capital inicial*
- *i: tasa de interés*
- *n: número de periodos*

La inflación promedio anual para el año 2017 se estableció en 3.5%⁴² y desde el año 2011 se han presentado un total de 6 años. La tabla 39 presentan los valores ajustados por el valor futuro para el año 2017.

⁴¹ ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA – UPTC. Convenio interadministrativo No. 010 de 2012: Evaluación económica y social. Tunja, noviembre de 2012. p. 26

⁴² DANE. Índice de precios al consumidor, base 2008. [en línea]. <<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>>. [Citado en 18 de noviembre del 2017]

Tabla 39. Valor ajustado de la accidentalidad por renta per-cápita para Colombia para el año 2017.

GRAVEDAD DEL ACCIDENTE		VALOR (Millones \$)
Muerto		835.894
Herido	Grave	111.371
	Leve	8.359
Daños materiales		0.369

Fuente: Elaboración a partir del convenio interadministrativo No. 010 de 2012. Evaluación económica y social.

Con el fin de poder estimar la reducción de accidentes de tránsito esperada por cada medida, se tomaron como base los accidentes ocurridos durante el último año (junio del 2016 a junio del 2017) y multiplicando por los factores de reducción de cada medida mostrados en la tabla 37. Cabe aclarar que todos los factores enunciados en la tabla 37 no especifican los factores de reducción para cada gravedad de accidente, en cambio se tomara el mismo factor de reducción para todas las gravedades con el fin de estimar los beneficios de las intersecciones en estudio. Las tablas 40, 41 y 42 nos muestran los beneficios proporcionados por cada medida para las intersecciones en estudio.

Tabla 40. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	FACTOR DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO	VIDA DEL TRATAMIENTO	TOTAL DE ACCIDENTES REDUCIDOS POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR EL TRATAMIENTO	
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	55%	todos los accidentes	5	8.8	\$ 12,036,200	\$ 60,181,000
AS-07: Mejoras en la demarcación	30%	todos los accidentes	5	4.8	\$ 6,565,200	\$ 32,826,000
AS-08: Señales de advertencia	40%	todos los accidentes	10	6.4	\$ 8,753,600	\$ 87,536,000
AS-14: Cercado peatonal	20%	relacionados con peatones	20	0.4	\$ 3,343,600	\$ 66,872,000
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos	20%	todos los accidentes	10	3.2	\$ 4,376,800	\$ 43,768,000
AS-20: Prohibición de giros	60%	todos los accidentes	10	9.6	\$ 13,130,400	\$ 131,304,000
AS-22, AS-23: Islas Splitter	30%	todos los accidentes	20	4.8	\$ 6,565,200	\$ 131,304,000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	FACTOR DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRANSITO	VIDA DEL TRATAMIENTO	TOTAL DE ACCIDENTES REDUCIDOS POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO O POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO O POR EL TRATAMIENTO	
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	55%	todos los accidentes	5	10.5	\$ 21,434,050	\$107,170,250
AS-07: Mejoras en la demarcación	30%	todos los accidentes	5	5.7	\$ 11,691,300	\$ 58,456,500
AS-08: Señales de advertencia	40%	todos los accidentes	10	7.6	\$ 15,588,400	\$155,884,000
AS-14: Cercado peatonal	20%	relacionados con peatones	20	0.4	\$ 3,343,600	\$ 66,872,000
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos	20%	todos los accidentes	10	3.8	\$ 7,794,200	\$ 77,942,000
AS-20: Prohibición de giros	60%	todos los accidentes	10	11.4	\$ 23,382,600	\$233,826,000
AS-22, AS-23: Islas Splitter	30%	todos los accidentes	20	5.7	\$ 11,691,300	\$233,826,000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Beneficios proporcionados por las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	FACTOR DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRANSITO	VIDA DEL TRATAMIENTO	TOTAL DE ACCIDENTES REDUCIDOS POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR AÑO	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR EL TRATAMIENTO	
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	55%	todos los accidentes	5	8.8	\$ 29,614,200	\$ 148,071,000
AS-07: Mejoras en la demarcación	30%	todos los accidentes	5	4.8	\$ 16,153,200	\$ 80,766,000
AS-08: Señales de advertencia	40%	todos los accidentes	10	6.4	\$ 21,537,600	\$ 215,376,000
AS-14: Cercado peatonal	20%	relacionados con peatones	20	0.6	\$ 5,015,400	\$ 100,308,000
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos	20%	todos los accidentes	10	3.2	\$ 10,768,800	\$ 107,688,000
AS-20: Prohibición de giros	60%	todos los accidentes	10	9.6	\$ 32,306,400	\$ 323,064,000
AS-22, AS-23: Islas Splitter	30%	todos los accidentes	20	4.8	\$ 16,153,200	\$ 323,064,000

Fuente: propia

De acuerdo a las estimaciones de los beneficios, se observa que las medidas que más se destacan son revisión de operación de los semáforos y prohibición de giros, debido a que sus porcentajes de reducción de accidentes son mucho más altos que las demás medidas. A pesar de ello se pudo concluir que el beneficio no solamente depende de su porcentaje de reducción, sino también de la vida que tiene cada uno de ellos, por ello las medidas que mejor beneficio representan son las islas splitter y la prohibición de giros.

7.1.2. Estimación de los costos de las medidas. Después de las consideraciones dadas anteriormente en la estimación de los beneficios de las medidas, se procedió a realizar esquemas de las intersecciones en estudio y lugares donde se podrían implementar las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Estos esquemas dan una idea de los recursos que deberán ser utilizados para la implementación de las medidas.

Cabe agregar que los costos de las medidas se realizaron mediante APU (análisis de precios unitarios) para el año 2017 y precios ajustados de cada uno de los tratamientos a implementar. A pesar de ello se debe realizar un presupuesto ajustado a los diseños definitivos que se implementaran para las medidas de mitigación en cada intersección en estudio.

La tabla 43, 44 y 45 presentan el costo estimado para las medidas de mitigación de accidentes propuestas para las intersecciones, con sus costos ajustados por el mantenimiento que se le darán durante la vida de cada uno de los tratamientos considerados.

Tabla 43. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.

TRATAMIENTO	VALOR
AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos	\$ 8,127,750.00
AS-07: Mejoras en la demarcación	\$ 23,399,215.40
AS-08: Señales de advertencia	\$ 8,038,020.00
AS-14: Cercado peatonal	\$ 63,238,500.00
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos	\$ 16,031,723.13
AS-20: Prohibición de giros	\$ 17,053,837.50
AS-22, AS-23: Islas Splitter	\$ 13,073,628.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.

TRATAMIENTO	VALOR
<i>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</i>	\$ 8,127,750.00
<i>AS-07: Mejoras en la demarcación</i>	\$ 13,039,214.65
<i>AS-08: Señales de advertencia</i>	\$ 5,358,680.00
<i>AS-14: Cercado peatonal</i>	\$ 63,238,500.00
<i>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</i>	\$ 3,745,080.00
<i>AS-20: Prohibición de giros</i>	\$ 12,962,353.75
<i>AS-22, AS-23: Islas Splitter</i>	\$ 19,768,391.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Costos de las medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.

TRATAMIENTO	VALOR
<i>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</i>	\$ 8,127,750.00
<i>AS-07: Mejoras en la demarcación</i>	\$ 14,674,020.90
<i>AS-08: Señales de advertencia</i>	\$ 8,038,020.00
<i>AS-14: Cercado peatonal</i>	\$ 63,238,500.00
<i>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</i>	\$ 2,679,340.00
<i>AS-20: Prohibición de giros</i>	\$ 22,409,110.75
<i>AS-22, AS-23: Islas Splitter</i>	\$ 21,232,542.69

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3. Evaluación de la efectividad en función de los costos de las medidas de mitigación. Existen varios métodos para el análisis costo-beneficio practicado en la economía de la ingeniería para evaluar si los proyectos son económicamente viables. Uno de ellos es presentado por el Safety at Signalized Intersections⁴³, el cual relaciona beneficio-costos (BCR), calculando en primera parte el valor actual de los beneficios y costos. Luego, se calcula la relación entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos. Si la relación es mayor a 1.0, el proyecto está económicamente justificado. Las medidas que se encuentran económicamente justificadas pueden implementarse para abordar los problemas de seguridad identificados en la etapa de diagnóstico.

Seleccionadas las medidas de mitigación de accidentes de tránsito para las intersecciones en estudio con sus respectivos beneficios y costos, se procedió a

⁴³ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: safety analysis methods. Second Edition. Washington. July 2013. p. 34

elaborar la relación beneficio-costo (BCR). Las tablas 46, 47 y 48 muestran las relaciones beneficio – costo de las medidas de mitigación de accidentes.

Tabla 46. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 37^a.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR EL TRATAMIENTO	VALOR DEL COSTO DE LA MEDIDA	RELACION COSTO/BENEFICIO DE LAS MEDIDAS
<i>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</i>	\$ 60,181,000	\$ 8,127,750	7.40
<i>AS-07: Mejoras en la demarcación</i>	\$ 32,826,000	\$ 23,399,215	1.40
<i>AS-08: Señales de advertencia</i>	\$ 87,536,000	\$ 8,038,020	10.89
<i>AS-14: Cercado peatonal</i>	\$ 66,872,000	\$ 63,238,500	1.06
<i>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</i>	\$ 43,768,000	\$ 16,031,723	2.73
<i>AS-20: Prohibición de giros</i>	\$ 131,304,000	\$ 17,053,838	7.70
<i>AS-22, AS-23: Islas Splitter</i>	\$ 131,304,000	\$ 13,073,628	10.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 48.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR EL TRATAMIENTO	VALOR DEL COSTO DE LA MEDIDA	RELACION COSTO/BENEFICIO DE LAS MEDIDAS
<i>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</i>	\$107,170,250	\$ 8,127,750	13.19
<i>AS-07: Mejoras en la demarcación</i>	\$ 58,456,500	\$ 13,039,215	4.48
<i>AS-08: Señales de advertencia</i>	\$155,884,000	\$ 5,358,680	29.09
<i>AS-14: Cercado peatonal</i>	\$ 66,872,000	\$ 63,238,500	1.06
<i>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</i>	\$ 77,942,000	\$ 3,745,080	20.81
<i>AS-20: Prohibición de giros</i>	\$233,826,000	\$ 12,962,354	18.04
<i>AS-22, AS-23: Islas Splitter</i>	\$233,826,000	\$ 19,768,392	11.83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Relación beneficio-costo para las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Intersección de la avenida norte con calle 53.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD	VALOR DEL BENEFICIO PROPORCIONADO POR EL TRATAMIENTO	VALOR DEL COSTO DE LA MEDIDA	RELACION COSTO/BENEFICIO DE LAS MEDIDAS
<i>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</i>	\$ 148,071,000	\$ 8,127,750	18.22
<i>AS-07: Mejoras en la demarcación</i>	\$ 80,766,000	\$ 14,674,021	5.50
<i>AS-08: Señales de advertencia</i>	\$ 215,376,000	\$ 8,038,020	26.79
<i>AS-14: Cercado peatonal</i>	\$ 100,308,000	\$ 63,238,500	1.59
<i>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</i>	\$ 107,688,000	\$ 2,679,340	40.19
<i>AS-20: Prohibición de giros</i>	\$ 323,064,000	\$ 22,409,111	14.42
<i>AS-22, AS-23: Islas Splitter</i>	\$ 323,064,000	\$ 21,232,543	15.22

Fuente: Elaboración propia.

A manera de resumen final sobre las estimaciones del costo/beneficio de las medidas de mitigación de accidentes, se observa que cada una de ellas tiene valores mayores a uno (1), es decir que son económicamente justificadas y pueden implementarse para abordar los problemas de seguridad identificados en el capítulo 5 para las intersecciones mencionadas anteriormente.

7.2. EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LAS MEDIDAS

Por último se evaluará como las medidas de mitigación de accidentes afectarán la operación de cada una de las intersecciones en estudio. Las tablas 49, 50 y 51 presentan las tablas comparativas de operación con las medidas y sin las medidas de mitigación de accidentes de tránsito. Para la realización de la proyección de tránsito al año siguiente (2018), fue necesario consultar diferentes fuentes de información en busca de un factor que representara la tasa de crecimiento del tránsito en la ciudad de Tunja, para una buena aproximación de los resultados se tomó un factor o una tasa de crecimiento de 1.88%⁴⁴, la cual representa el crecimiento de la población en la ciudad de Tunja, la cual se puede relacionar con la generación de viajes dentro de la ciudad debido a la obligatoriedad del

⁴⁴ DANE. Proyecciones de población municipales por área. [en línea]. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2009.xls>. [Citado en 30 de noviembre del 2017].

transporte para las personas residentes en Tunja quienes en su mayoría habitan en los barrios perimetrales de la ciudad.

Tabla 49. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 37^a.

ANALISIS DE OPERACIÓN SIN LAS MEDIDAS				ANALISIS DE OPERACIÓN CON LAS MEDIDAS			
RESUMEN DE LA INTERSECCION				RESUMEN DE LA INTERSECCION			
<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>		<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>	
<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		105		<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		110	
<i>Demora en la intersección (s)</i>		118.9		<i>Demora en la intersección (s)</i>		71.3	
<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		81.9		<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		77.7	
<i>Nivel de servicio</i>		F		<i>Nivel de servicio</i>		E	
RESUMEN DE LOS ACCESOS				RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)	ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
Acceso norte	F	184.0	286.7	Acceso norte	E	60.1	268.1
Acceso sur	E	60.1	208.6	Acceso sur	C	33.1	204.4
Acceso este	F	152.8	103.4	Acceso este	F	191.5	11.6
Acceso oeste	E	62.0	70.3	Acceso oeste	F	177.5	92.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 48.

ANALISIS DE OPERACIÓN SIN LAS MEDIDAS				ANALISIS DE OPERACIÓN CON LAS MEDIDAS			
RESUMEN DE LA INTERSECCION				RESUMEN DE LA INTERSECCION			
<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>		<i>Tipo de control</i>		<i>Predeterminado</i>	
<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		115		<i>Actual duración del ciclo (s)</i>		80	
<i>Demora en la intersección (s)</i>		212.1		<i>Demora en la intersección (s)</i>		16.2	
<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		91.7		<i>Utilización de la capacidad de la intersección (%)</i>		64.5	
<i>Nivel de servicio</i>		F		<i>Nivel de servicio</i>		B	
RESUMEN DE LOS ACCESOS				RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)	ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
Acceso norte	F	121.8	267.8	Acceso norte	B	11.4	95.6
Acceso sur	F	292.0	182.6	Acceso sur	B	11.9	84.0
Acceso oeste	F	201.7	182.2	Acceso oeste	D	49.7	93.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51. Evaluación de la operación con y sin las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 51.

ANALISIS DE OPERACIÓN SIN LAS MEDIDAS				ANALISIS DE OPERACIÓN CON LAS MEDIDAS			
RESUMEN DE LA INTERSECCION				RESUMEN DE LA INTERSECCION			
Tipo de control		<i>Predeterminado</i>		Tipo de control		<i>Predeterminado</i>	
Actual duración del ciclo (s)		120		Actual duración del ciclo (s)		110	
Demora en la intersección (s)		223		Demora en la intersección (s)		155.7	
Utilización de la capacidad de la intersección (%)		100.9		Utilización de la capacidad de la intersección (%)		99.2	
Nivel de servicio		<i>F</i>		Nivel de servicio		<i>F</i>	
RESUMEN DE LOS ACCESOS				RESUMEN DE LOS ACCESOS			
ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)	ACCESO	Nivel de servicio	Demora total (s)	longitudes de cola 95th (m)
Acceso norte	<i>D</i>	38.0	129.1	Acceso norte	<i>D</i>	39.1	135.7
Acceso sur	<i>F</i>	311.5	246.7	Acceso sur	<i>F</i>	210.8	230.7
Acceso este	<i>A</i>	0.1	0.0	Acceso este	-	-	-
Acceso oeste	<i>A</i>	0.8	0.0	Acceso oeste	<i>A</i>	0.1	0.0
Acceso noreste	<i>F</i>	376.8	200.5	Acceso noreste	<i>F</i>	229.9	171.8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en cada uno de los casos de las intersecciones en estudio, se mejoró el nivel de servicio y de utilización, debido a la prohibición de movimientos giro, generadores de demoras por la dificultad de los movimientos y por ende mayores longitudes de cola al no despejar la totalidad de vehículos.

8. MEDIDAS A IMPLEMENTAR

8.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO

8.1.1. Revisión de operación de los semáforos. El funcionamiento de los semáforos debe revisarse cada dos o tres años para garantizar que las configuraciones de sincronización y coordinación coincidan con las demandas actuales de tráfico. Los especialistas en operaciones de semáforos deben revisar las siguientes características de semáforos:

- Tiempos de ciclo de los semáforos
- Tipos de fase y secuencias
- Selección de plan de fase (por características del momento del día o del flujo de tráfico)
- Paso peatonal y tiempos de despeje
- Tiempos verde, amarillo y rojos para cada fase.
- Compensaciones de coordinación de semáforos aledaños existentes
- Otros datos de control de señal.

Una actualización del software del controlador y del chip también se puede incorporar a la revisión. Los cambios normalmente deberían estar relacionados con cambios en las demandas de vehículos o peatones.

8.1.2. Mejoras en la demarcación. En la mayoría de las situaciones, los cambios están limitados a una sola ubicación y consisten en modificaciones o adiciones al esquema de marcación existente, en lugar de un diseño de uno nuevo. Las mejoras en el trazado de línea deberían considerarse una solución de bajo costo para los problemas de tráfico operacional seleccionados que generan problemas de seguridad. Algunos ejemplos de mejoras en la alineación de líneas pueden incluir:

- Replanteo / reasignación de carriles de aproximación a una intersección señalizada
- Extendiendo carriles de giro pintados.
- Canalizando los vehículos a través de intersecciones

- Flechas de pavimento, líneas de giro
- Ajuste de las posiciones de línea de parada o ceder para una mejor distancia visual

8.1.3. Señales de advertencia. Generalmente, se usarán letreros de tamaño estándar, pero en algunos casos donde esté justificado (por ejemplo, en entornos de alta velocidad y / o en los que haya grandes volúmenes de vehículos), se podrían considerar rótulos más grandes.

En algunos casos excepcionales, se pueden usar paneles de soporte altamente visibles. Las señales de advertencia se pueden utilizar en una variedad de situaciones, incluida la advertencia de:

- Intersecciones o cruces ferroviarios
- Control de tráfico (por ejemplo, señales o el signo pare)
- advertencia de los usuarios vulnerables de la carretera (por ejemplo, niños o usuarios de la vía pública ancianos)
- obras viales o advertencia de condiciones adversas en la superficie de la carretera

8.1.4. Cercado peatonal. La valla peatonal se usa generalmente en entornos urbanos concurridos, en zonas de seguridad / paradas de autobús, y generalmente donde es probable que un gran número de peatones interactúen con un gran número de vehículos. La construcción de cercas para peatones a ambos lados de la carretera o cerca de las esquinas de intersección alienta a los peatones a cruzar en lugares más seguros. La esgrima también se puede instalar en las medianas de las carreteras divididas de varios carriles (por ejemplo, enfrente de las escuelas). El vallado a lo largo de la línea de acera también desalienta a los automovilistas a estacionarse cerca de un punto de cruce.

8.1.5. Prohibiciones de estacionamiento. Ocasionalmente, el estacionamiento en el camino debe ser retirado o reubicado por razones de seguridad. Esto generalmente se logra mediante la construcción de dispositivos para el no parqueo de vehículos u otras señales de restricción de estacionamiento. La eliminación de estacionamiento en áreas comerciales y residenciales es probable que tenga un impacto negativo en las empresas y servicios locales. Se necesita un debate abierto con la comunidad local sobre los problemas específicos de seguridad vial y la viabilidad de soluciones alternativas para lograr un resultado

sostenible. En la mayoría de las jurisdicciones, el estacionamiento está bajo el control del gobierno local.

8.1.6. Prohibición de giros. Prohibir los giros del vehículo es una práctica de gestión del tráfico que se utiliza para eliminar la posibilidad de conflicto entre los vehículos que entran y salen. Las prohibiciones se pueden aplicar en una intersección individual o en una ruta elegida. Las prohibiciones son mejor aceptadas por los automovilistas cuando afectan a un pequeño número de conductores y cuando existen oportunidades de cambio alternativas cerca. Algunas situaciones comunes donde los giros están prohibidos incluyen:

- alta tasa de caída a la derecha
- construcción de un separador
- falta de carriles de giro en grandes volúmenes de tráfico

Las prohibiciones de giro se consideran una práctica muy restrictiva que se usa solo cuando se han agotado otras medidas menos intrusivas o se ha determinado que son inapropiadas. Se debe considerar cuidadosamente los impactos de las prohibiciones en las intersecciones aguas arriba y aguas abajo.

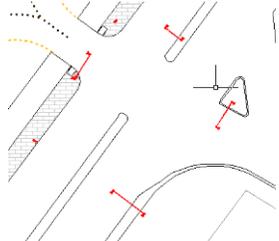
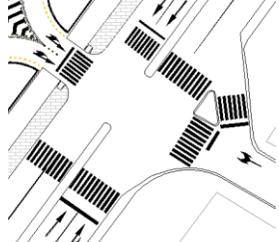
8.1.7. Islas Splitter. Las islas Splitter, que también se conocen como islas de tráfico, islas centrales o islas medianas, son estructuras de carreteras con entramados elevados ubicadas en las intersecciones o cerca de ellas. Están diseñados para separar los movimientos de tráfico opuestos, canalizar el tráfico a una trayectoria de viaje definida, limitar la velocidad de giro de los vehículos al restringir el radio de giro y, a veces, proporcionar un punto de estacionamiento para cruzar a los peatones.

Las islas Splitter pueden tener diferentes formas y diseños, dependiendo del propósito, las condiciones del sitio y los estándares de diseño específicos. En muchas calles residenciales, cortas secciones delgadas de cerramiento temporal se adhieren a la carretera en las intersecciones para limitar el radio de giro y, por lo tanto, mejorar la seguridad mediante el fomento de giros más lentos. Por otro lado, las grandes islas de tráfico pueden separar flujos de tráfico opuestos en intersecciones señalizadas en arterias indivisas, donde es posible una ampliación localizada. Las islas Splitter suelen acomodar hardware de señales de tráfico y proporcionar escenarios para peatones. Las islas de tráfico son ampliamente utilizadas en el diseño de intersecciones y el control del tráfico.

8.2. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 37^a

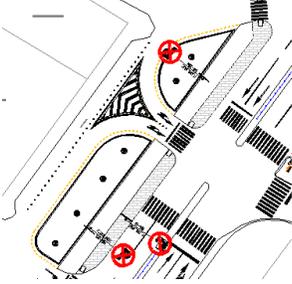
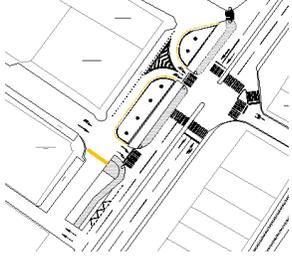
8.2.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 37^a. La tabla 52 presenta la ubicación de cada una de las medidas a implementar, con su respectiva descripción del tratamiento.

Tabla 52. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 37^a.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
<p>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</p>		<p>Realizar un estudio de conteo peatonal y vehicular sobre toda la intersección en diferentes días, con el fin de garantizar que las configuraciones de sincronización y coordinación coincidan con las demandas actuales de tráfico. Ya que se presentaron accidentes cuando el semáforo se encontraba en intermitencia se deberá considerar que los semáforos operen en horas de la noche y madrugada.</p>
<p>AS-07: Mejoras en la demarcación</p>		<p>Repintar las cebras sobre los cuatro accesos (norte, sur, este y oeste), ya que presentan gran desgaste y no se ven a simple vista, así como las líneas de pare, flechas de dirección y la demarcación del paradero ubicado al frente del centro comercial centro norte, sentido norte-sur.</p>
<p>AS-08: Señales de advertencia</p>		<p>Con el fin de mejorar las información que proporcionan las señales verticales sobre limitaciones, prohibiciones o restricciones en la zona aledaña a la intersección, se plantea la instalación de nuevas señales, como un señal SR-01 sobre la calle 37, una SR-41 metros adelante del semáforo del acceso norte y señales SR-30 (30) sobre la avenida norte en cercanías a los accesos sur y norte.</p>
<p>AS-14: Cercado peatonal</p>		<p>La valla se ubicara sobre el separador de la avenida norte con una distancia de 150 metros a lado y lado de la intersección, evitando que los peatones pasen por zonas inadecuadas y utilicen los pasos controlados por el semáforo.</p>

Fuente: Elaboración propia.

(Continuación) Tabla 52. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 37ª.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
<p>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</p>		<p>Los elementos que se podrían utilizar para prohibir el estacionamiento de vehículos sobre el acceso este de la intersección, frente a los establecimientos comerciales del banco caja social y Soelco, son tachones, marcas viales de no parquear, señales verticales SR-28a y bolardos ya que este lugar se convirtió en una zona de parqueo constante de vehículos.</p>
<p>AS-20: Prohibición de giros</p>		<p>La prohibición de giros traerá consigo la canalización y el ordenamiento de los flujos vehiculares, la disminución de conflictos vehículo-vehículo y vehículo-usuarios más vulnerables. Esta prohibición de giros se realizaría sobre el acceso oeste debido a los conflictos que se evidenciaron en esta zona.</p>
<p>AS-22, AS-23: Islas Splitter</p>		<p>La principal función de este elemento es la canalización de los vehículos que entran al acceso oeste, además de proporcionar zonas de pacificación del tránsito donde los peatones pueden transitar seguros.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Además en el anexo E1 se presenta el plano de las modificaciones hechas para la implementación de las medidas sobre esta intersección.

8.2.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. Intersección de la avenida norte con calle 37ª.

Teniendo en cuenta los cambios en los sentidos viales establecidos para la implementación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección, se realizaron esquemas con las nuevas trayectorias que deberán tomar los vehículos. En la figura 47 se presentan los sentidos viales propuestos para la implementación de las medidas de mitigación de accidentes, sobre la zona de influencia de la intersección de la avenida norte con calle 37ª. Estos cambios de sentido no solamente buscaran la reducción de conflictos vehículo – vehículo y vehículo – usuarios vulnerables, sino también el ordenamiento del tráfico.

Figura 47. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 37ª.



Fuente: Elaboración propia a partir de open street maps.

8.3. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 48

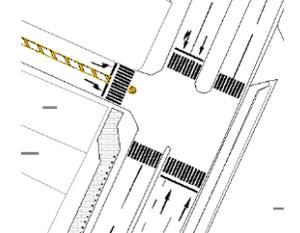
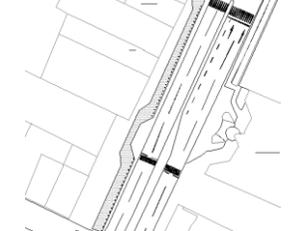
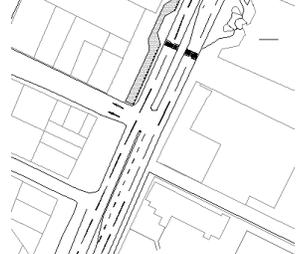
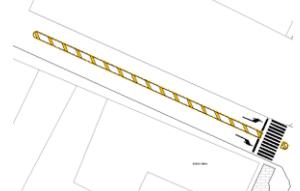
8.3.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 48. La tabla 53 presenta la ubicación de cada una de las medidas a implementar, con su respectiva descripción del tratamiento. En el anexo E2 se presenta el plano de las modificaciones hechas sobre la intersección.

Tabla 53. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 48.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
<p>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</p>		<p>Realizar un estudio de conteo peatonal y vehicular sobre toda la intersección en diferentes días, con el fin de garantizar que las configuraciones de sincronización y coordinación coincidan con las demandas actuales de tráfico. Este estudio no solamente se deberá realizar sobre los semáforos de la intersección de la avenida norte con calle 48 sino también sobre el semáforo al frente del centro comercial centro norte.</p>

Fuente: Propia.

(Continuación) Tabla 53. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 48.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
AS-07: Mejoras en la demarcación		Repintar las cebras sobre los dos accesos (norte y sur), ya que presentan gran desgaste y no se ven a simple vista, así como las líneas de pare, flechas de dirección y la demarcación del paradero ubicado al frente del centro comercial olímpica, sentido norte-sur. Se deberá proporcionar una cebra y línea de pare sobre el acceso oeste con línea de pare
AS-08: Señales de advertencia		Con el fin de mejorar la información que proporcionan las señales verticales sobre limitaciones, prohibiciones o restricciones en la zona aledaña a la intersección, se plantea la instalación de nuevas señales, como un señal SR-10 en el separador para los vehículos del acceso sur.
AS-14: Cercado peatonal		La valla se ubicara sobre el separador de la avenida norte con una distancia de 150 metros a lado y lado de la intersección, evitando que los peatones pasen por zonas inadecuadas y utilicen los pasos controlados por el semáforo.
AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos		A pesar de que se evidencian señales SR-28a sobre la acera, los vehículos se siguen estacionando sobre ella, por lo cual el último recurso que se utilizara es la implantación de bolardos sobre la acera con el fin de mejorar el tránsito y visibilidad de peatones
AS-20: Prohibición de giros		Esta prohibición de giros se realizaría sobre el acceso sur debido a los conflictos que se evidenciaron en esta zona. Una de las tareas para no afectar otras intersecciones aledañas es trasladar los movimientos de giro en u y a la izquierda del acceso sur a la calle 47, realizando una apertura del separador y carril de giro sobre el separador aprovechando la brecha proporcionada por el semáforo peatonal.
AS-22, AS-23: Islas Splitter		La principal función de este elemento es la canalización de los vehículos que entran al acceso oeste, además de proporcionar zonas de pacificación del tránsito donde los peatones pueden transitar seguros.

Fuente: Elaboración Propia.

8.3.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. Intersección de la avenida norte con calle 48. Teniendo en cuenta los cambios en los sentidos viales establecidos para la implementación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección, se realizaron esquemas con las nuevas trayectorias que deberán tomar los vehículos. Además se debe tener en cuenta que también se modificaría ruta 3 y 14 del servicio público de la ciudad de Tunja por los cambios de sentido propuestos por las medidas las cuales se presentan en la figura 49 y 50.

Figura 48. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Mapa trazado de ruta 3 actual y modificada. Barrió JJ Camacho.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. Mapa trazado de ruta 14 actual y modificada. Barrió JJ Camacho.



Fuente: Elaboración propia.

8.4. MEDIDAS A IMPLEMENTAR EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA NORTE CON CALLE 53

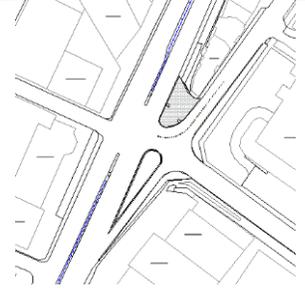
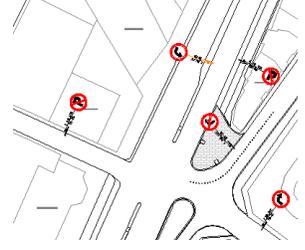
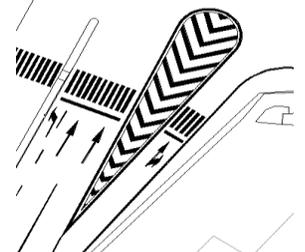
8.4.1. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección de la avenida norte con calle 53. La tabla 54 presenta la ubicación de cada una de las medidas a implementar, con su respectiva descripción del tratamiento. Además en el anexo E3 se presenta el plano de las modificaciones hechas sobre esta intersección.

Tabla 54. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 53.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
<p>AS-03: Coordinación de las señales. Revisión de operación de semáforos</p>		<p>Realizar un estudio de conteo peatonal y vehicular sobre toda la intersección en diferentes días, con el fin de garantizar que las configuraciones de sincronización y coordinación coincidan con las demandas actuales de tráfico. Ya que se presentaron accidentes cuando el semáforo se encontraba en intermitencia se deberá considerar que los semáforos operen en horas de la noche y madrugada.</p>
<p>AS-07: Mejoras en la demarcación</p>		<p>Repintar las cebras sobre los tres accesos (norte, sur y noreste), ya que presentan gran desgaste y no se ven a simple vista, así como las líneas de pare y flechas de dirección. Se deberá proporcionar cebras peatonales sobre los accesos este y oeste con sus debidas líneas de pare y fechas de dirección.</p>

Fuente: Elaboración propia.

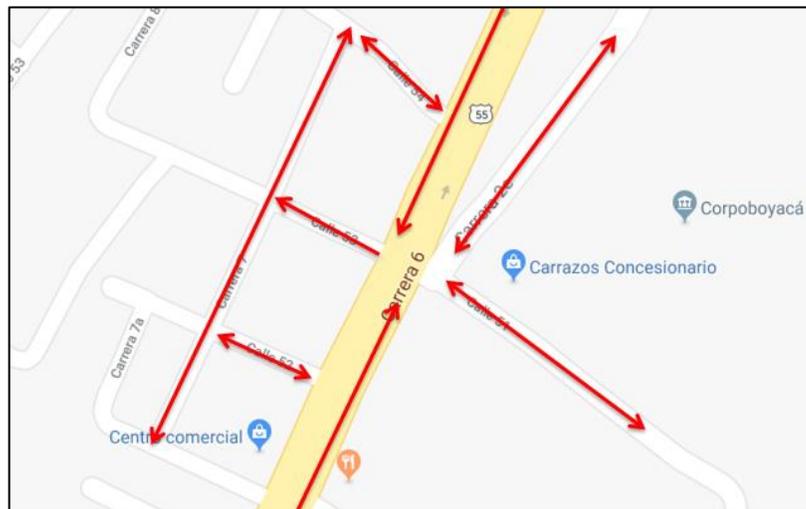
(Continuación) Tabla 54. Ubicación de las medidas de mitigación de accidentes. Avenida norte con calle 53.

MEDIDA	ILUSTRACION	UBICACIÓN Y RECOMENDACIONES
<p>AS-08: Señales de advertencia</p>		<p>Con el fin de mejorar la información que proporcionan las señales verticales sobre limitaciones, prohibiciones o restricciones en la zona aledaña a la intersección, se plantea la instalación de nuevas señales, como una señal SR-10 en el separador para los vehículos del acceso sur, señales SR-41 donde se evidencio parada de buses inadecuadas y señales SR-30 (30) sobre la avenida norte en cercanías a los accesos sur y norte</p>
<p>AS-14: Cercado peatonal</p>		<p>La valla se ubicara sobre el separador de la avenida norte con una distancia de 150 metros a lado y lado de la intersección, evitando que los peatones pasen por zonas inadecuadas y utilicen los pasos controlados por el semáforo.</p>
<p>AS-17 – AS-18: Prohibiciones de estacionamiento- Bolardos</p>		<p>Los elementos que se podrían utilizar para prohibir el estacionamiento de vehículos en la zona aledaña a la intersección, señales verticales SR-28 sobre la calle 53a en el acceso oeste y sobre la salida del acceso norte.</p>
<p>AS-20: Prohibición de giros</p>		<p>La prohibición de giros traerá consigo la canalización y el ordenamiento de los flujos vehiculares, la disminución de conflictos vehículo-vehículo y vehículo-usuarios más vulnerables. Esta prohibición de giros se realizaría sobre el acceso sur evitando que los vehículos realicen los giros en u dificultosos , además de la eliminación de los movimientos del acceso oeste cambiando el sentido de la calle y para el acceso este solo permitiendo el movimiento hacia la derecha</p>
<p>AS-22, AS-23: Islas Splitter</p>		<p>La principal función de este elemento es la canalización de los vehículos que van del acceso su al este y noreste, además de proporcionar zonas de pacificación del tránsito donde los peatones pueden transitar seguros.</p>

Fuente: Elaboración propia.

8.4.2. Cambios de sentido con la implementación de las medidas. intersección de la avenida norte con calle 37^a. Teniendo en cuenta los cambios en los sentidos viales establecidos para la implementación de las medidas de mitigación de accidentes sobre la intersección, se realizaron esquemas con las nuevas trayectorias que deberán tomar los vehículos. Además se debe tener en cuenta que también se modificaría ruta 14 y 16 del servicio público de la ciudad de Tunja por los cambios de sentido propuestos por las medidas las cuales se presentan en la figura 52 y 53.

Figura 51. Sentidos viales propuestos por la implementación de medidas de mitigación de accidentes. Intersección de la avenida norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia a partir de open street maps.

Figura 52. Mapa trazado de ruta 14 actual y modificada. Barrió la granja.



Fuente: Propia.

Figura 53. Mapa trazado de ruta 16 actual y modificada. Barrió la granja.



Fuente: Propia.

9. CONCLUSIONES

Los accidentes de tránsito son catalogados un fenómeno de alta complejidad debido a los factores de riesgo que representa, por ello los ingenieros de tránsito se han propuesto identificar y elegir de alternativas adecuadas a las necesidades en diferentes situaciones, con el fin de atacar los problemas de seguridad presentes en estos sitios. Sin embargo, mientras exista movilidad es prácticamente imposible de erradicar todos los accidentes de tránsito y sus debidas consecuencias.

El análisis de accidentalidad mostro que los hechos que más prevalecen sobre las intersecciones en estudio son los choques por alcance, estos pueden ser provocados por los semáforos de las intersecciones, ya que una de las desventajas que proporciona estos dispositivos, es el incremento de este tipo de accidentes, además de la imprudencia de los conductores al no respetar la distancia de seguridad, a pesar de ello estos siniestros en su mayoría solo presentan daños materiales.

Los accidentes que provocan mayor cantidad de heridos sobre las zonas de influencia de las intersecciones, es el accidente por atropello, ya que a pesar de los pasos seguros para peatones como las fases semafóricas de las intersecciones, en algunos casos no son utilizados por ellos, pasando por lugares inadecuados, asociado a otros problemas de seguridad que potencializan estos tipos de siniestros. Otra de las posibles causas de los accidentes observados en las intersecciones en estudio (Av. Norte – Calle 37A (La Sexta), Av. Norte –Calle 48 (sector de Centro Norte) y Av. Norte - Calle 53 (la Toyota)),es el alto índice de congestión que presentan, debido a que entre más vehículos circulen por la carretera mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes abra.

La información recolectada de las intersecciones en estudio con su posterior análisis, dio una idea de las medidas de mitigación que serían pertinente aplicar en cada una de ellas, con el fin de poder disminuir en manera de lo posible los accidentes de tránsito que ocurren en estas intersecciones. Las medidas que pueden ser implementadas en las intersecciones, corresponden a la revisión de operación de los semáforos, mejoras en la demarcación, instalación de señales de advertencia, prohibiciones de estacionamiento, prohibiciones de giros, cercados peatonales e islas splitter.

Las medidas traerán consigo el ordenamiento de los flujos vehiculares, la disminución de conflictos vehículo-vehículo y vehículo-usuarios más vulnerables (peatones y ciclistas). Las medidas propuestas para cada intersección, evidencia una mejora en la operación de todas ellas en cuestión a las demoras y longitudes de cola, generando un nivel de servicio mucho mejor si no se realiza ninguna de las medidas de mitigación de accidentes.

Dentro de las medidas de mitigación que se evaluaron para atacar los principales tipos de accidente, se encontró que la prohibición de algunos giros busca eliminar algunos conflictos, en consecuencia menos oportunidades de choque, mientras que la prohibición de estacionamiento mejora la visibilidad de la zonas y el cercado peatonal sobre los separadores guía a los peatones a utilizar los pasos peatonales controlados. Con la unión de dispositivos como tachones, delineadores tubulares y líneas de demarcación se formaran zonas de pacificación del tráfico (Islas Splitter) en donde los peatones pueden transitar seguros.

Los resultados arrojados sobre beneficios que se pueden obtener con la implementación de las medidas pueden variar, ya que no es seguro que todos los valores de reducción de accidentes sean aplicables al caso Colombiano, debido a la diferencia en el comportamiento de conducción de ambos países (Australia-Colombia). Los valores de reducción de accidentes del “road safety engineering toolkit” (Australia) están basados en la continua actualización de las agencias del gobierno estatal y los resultados de revisiones exhaustivas de investigación en la seguridad vial.

No obstante la estimación del beneficio para una de las intersecciones en estudio, podría servir para la base de factores de reducción de accidentes para Colombia. Para obtener resultados acertados sobre factores de reducción, es necesario hacer un seguimiento de las medidas de mitigación implantadas en cada una de las intersecciones en estudio para obtener conocimiento sobre lo que realmente sucedió. El objetivo es mostrar si la inversión dio una buena relación costo-beneficio y si los resultados en términos de seguridad fueron buenos o malos.

La gestión de puntos críticos de accidentalidad es un tema prácticamente desconocido en nuestro país, ya que carece de información referente a medidas de mitigación de accidentes de tránsito por falta de investigación en el campo de la seguridad vial, un conocimiento que solo se lograra en varios años con el seguimiento, investigación, desarrollo de otros países y ajustándose a las condiciones locales. Aplicar la misma medida en diferentes lugares puede dar resultados diferentes, una razón es que no hay dos lugares que sean exactamente lo mismo y otra razón es que la fluctuación aleatoria en el número de accidentes y

lesiones puede dar resultados diferentes. No obstante, las estimaciones dadas podrían formar una base para calcular las estimaciones locales de nuestro entorno y así aplicar medidas de mitigación adecuadas a las problemáticas de accidentalidad que se presenten. Aunque una reducción significativa de accidentes no solamente se obtendrá mediante planes de gestión, sino también se deberá tener en cuenta la cultura vial de las personas, nuevas tecnologías, controles, entre otras que mejoren la seguridad vial de los entornos urbanos de nuestro país.

10. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. Comportamiento de la siniestralidad vial en Colombia, 2016. Observatorio nacional de seguridad vial. 2016.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. Código nacional de tránsito terrestre: ley 769 de 2002.

ALCALDIA MAYOR DE TUNJA. Plan de ordenamiento territorial 2000-2009: Mapa de usos del suelo urbano. Mayo del 2001.

ALCALDIA MAYOR DE TUNJA. Plan municipal de seguridad vial 2016-2021. Secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Tunja. Tunja, 2015.

ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA – UPTC. Convenio interadministrativo No. 010 de 2012: Evaluación económica y social. Tunja, noviembre de 2012. p. 26

AUSTROADS INCORPORATED. Guide to Road Safety, Part 8: Treatment of Crash Locations. Sydney, Australia. January 2009.

BOX Y OPPENLANDER. Manual de estudios de ingeniería de tránsito. México, D.F.: Representaciones y Serv. de Ingeniería 1985.

COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD DE TRANSITO. ¿Es el exceso de velocidad realmente un problema de seguridad de tránsito?. 2016 [en línea]. Disponible en <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/fichas_accion_14.pdf> [citado en 11 de septiembre del 2017]

DANE. Índice de precios al consumidor, base 2008. [en línea]. <<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>>. [Citado en 18 de noviembre del 2017]

DANE. Proyecciones de población municipales por área. [en línea]. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyecionMunicipios2005_2009.xls>. [Citado en 30 de noviembre del 2017].

DR. TOM V. MATHEW, IIT BOMBAY. Transportation Systems Engineering: Accident Studies. 2014.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Safety at Signalized Intersections: chapter 6, safety analysis methods . Second Edition. Washington. July 2013.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Tunja, valor del suelo. 2015, Bogotá.

INSTITUTO MAPFRE DE SEGURIDAD VIAL. Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones. Lorca, España.

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Una Metodología para el Tratamiento de Sitios de Alta Incidencia de Accidentes en Carreteras. Sanfandila, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES. Comportamiento de muertes y lesiones por accidentes de transporte. Colombia, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). Cartilla para conteos manuales de tránsito.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Special Report on Land Use: Land-Use Change and Forestry. 1999.

KRAMER, Carlos. Ingeniera de carreteras: Vol.1. Madrid Mcgraw-hill / interamericana de España, 2003.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE. Manual del conductor: manual oficial de educación y seguridad vial. Costa Rica, 2016.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Plan nacional de seguridad vial, Colombia 2011-2021. 2ª edición. 2015.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diligenciamiento del informe policial de accidentes de tránsito. Bogotá, D.C., 2012.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de señalización vial. 2015.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Informe de la situación mundial de la seguridad vial. 2015.

OGDEN, KW. Safer roads: a guide to road safety engineering, Avebury, London, UK.

RAFAEL CAL Y MAYOR R, JAMES CÁRDENAS. Fundamentos e ingeniería de tránsito. Ed. Alfaomega, 2013.

RASCON, O. MENDOZA, A. MAYORAL, E. 2007. Tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes en carreteras Mexicanas. México.

TANDI INTERNACIONAL S.A. Metodología para la evaluación social de proyectos de inversión pública para construcción "Anexo 1 – caso de aplicación". [En línea]. Disponible en <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/parada_c_me/apendiceK.pdf>. [Citado el 29 de septiembre del 2017]

ANEXOS

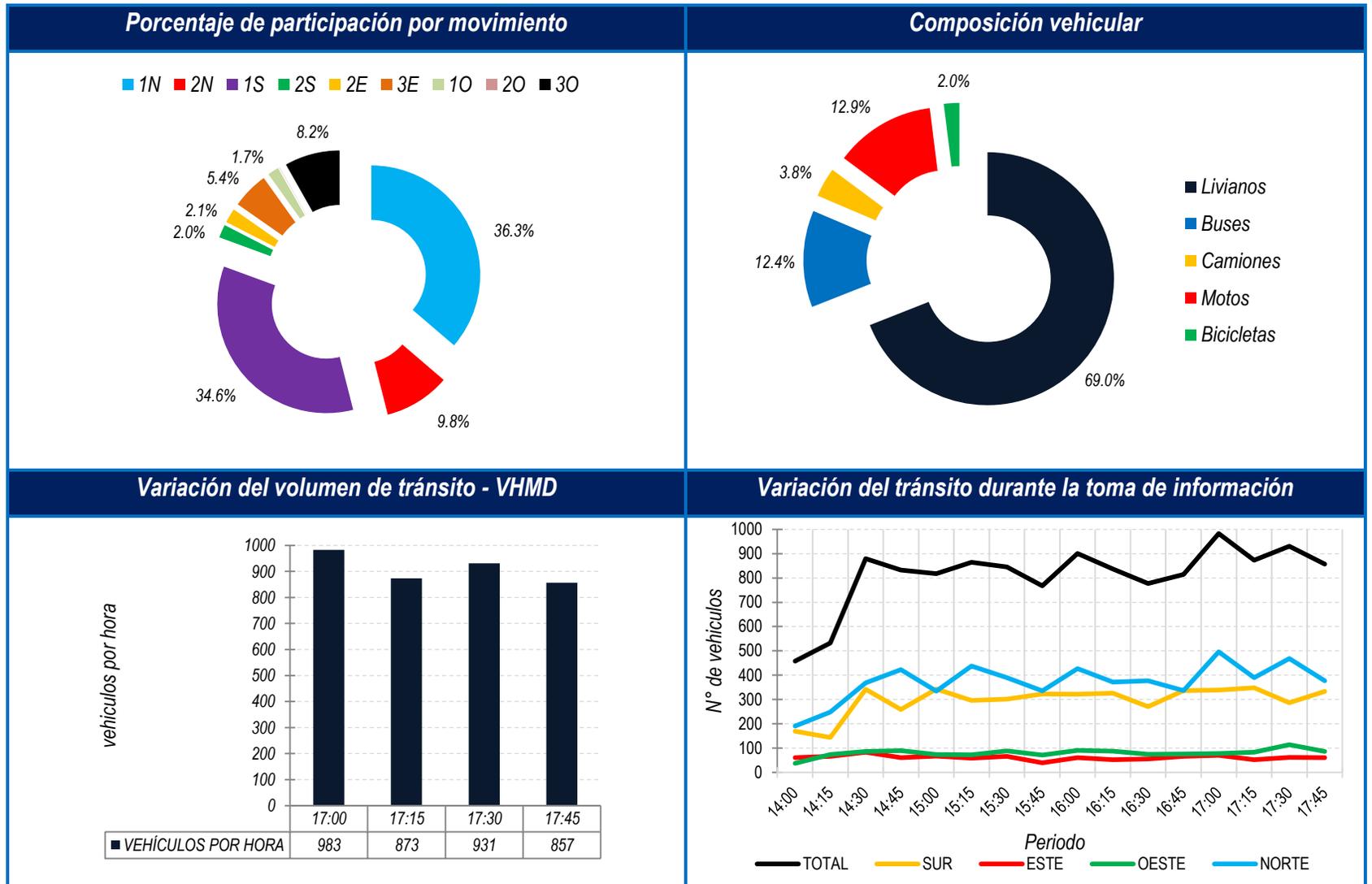
ANEXOS FISICOS

- ANEXO A1. Volúmenes vehiculares – avenida norte con calle 37^a
- ANEXO A2. Volúmenes vehiculares – avenida norte con calle 48
- ANEXO A3. Volúmenes vehiculares – avenida norte con calle 53
- ANEXO B1. Velocidades vehiculares – avenida norte con calle 37^a
- ANEXO B2. Velocidades vehiculares – avenida norte con calle 48
- ANEXO B3. Velocidades vehiculares – avenida norte con calle 53
- ANEXO F1. Variación de la accidentalidad por hora

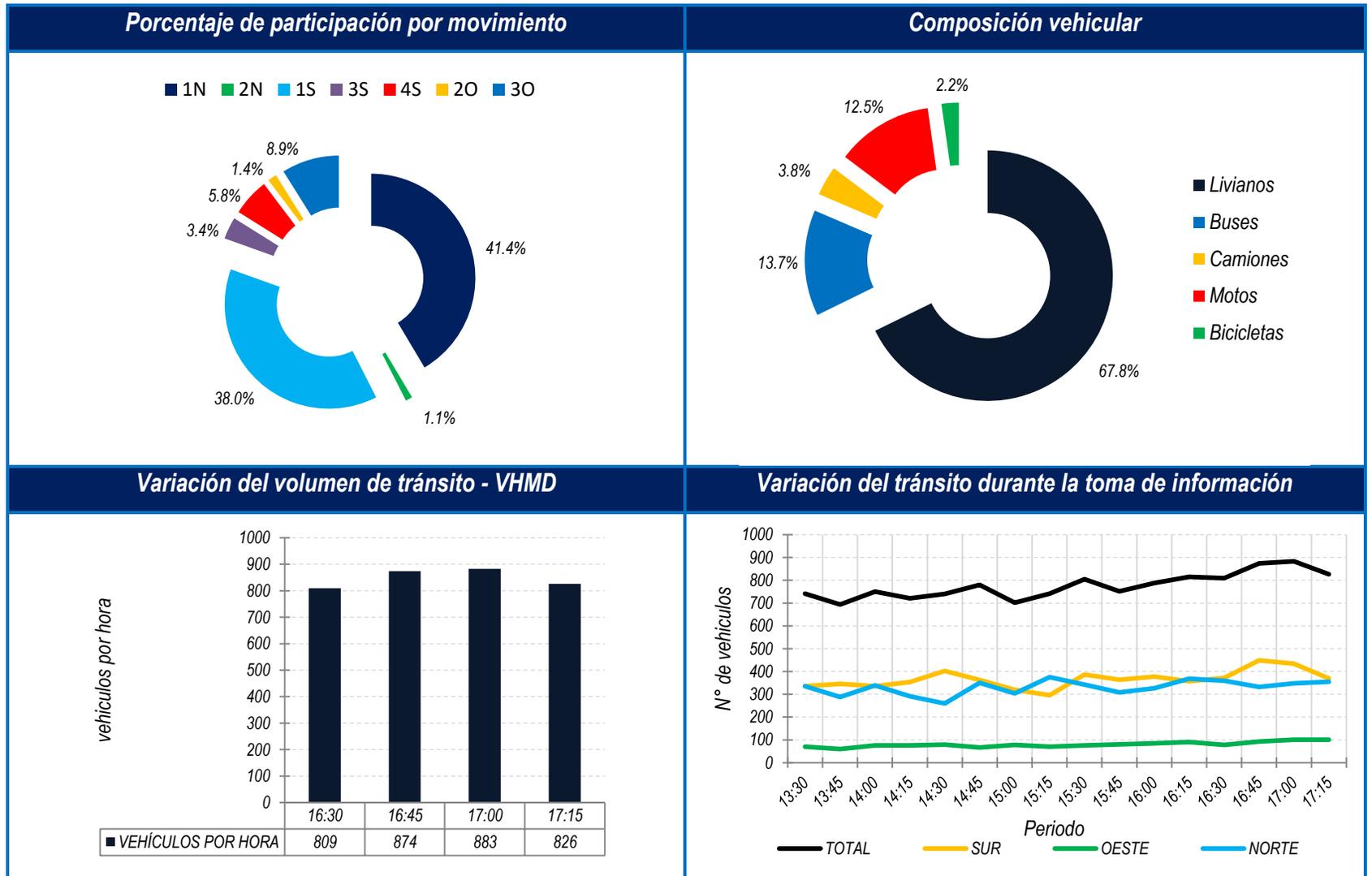
ANEXOS MAGNETICOS

- ANEXO D1. Estado actual de la intersección de la avenida norte con calle 37^a
- ANEXO D2. Estado actual de la intersección de la avenida norte con calle 48
- ANEXO D3. Estado actual de la intersección de la avenida norte con calle 53
- ANEXO E1. Medidas de gestión de accidentes de tránsito sobre la intersección de la avenida norte con calle 37^a
- ANEXO E2. Medidas de gestión de accidentes de tránsito sobre la avenida norte con calle 48
- ANEXO E3. Medidas de gestión de accidentes de tránsito sobre la avenida norte con calle 53

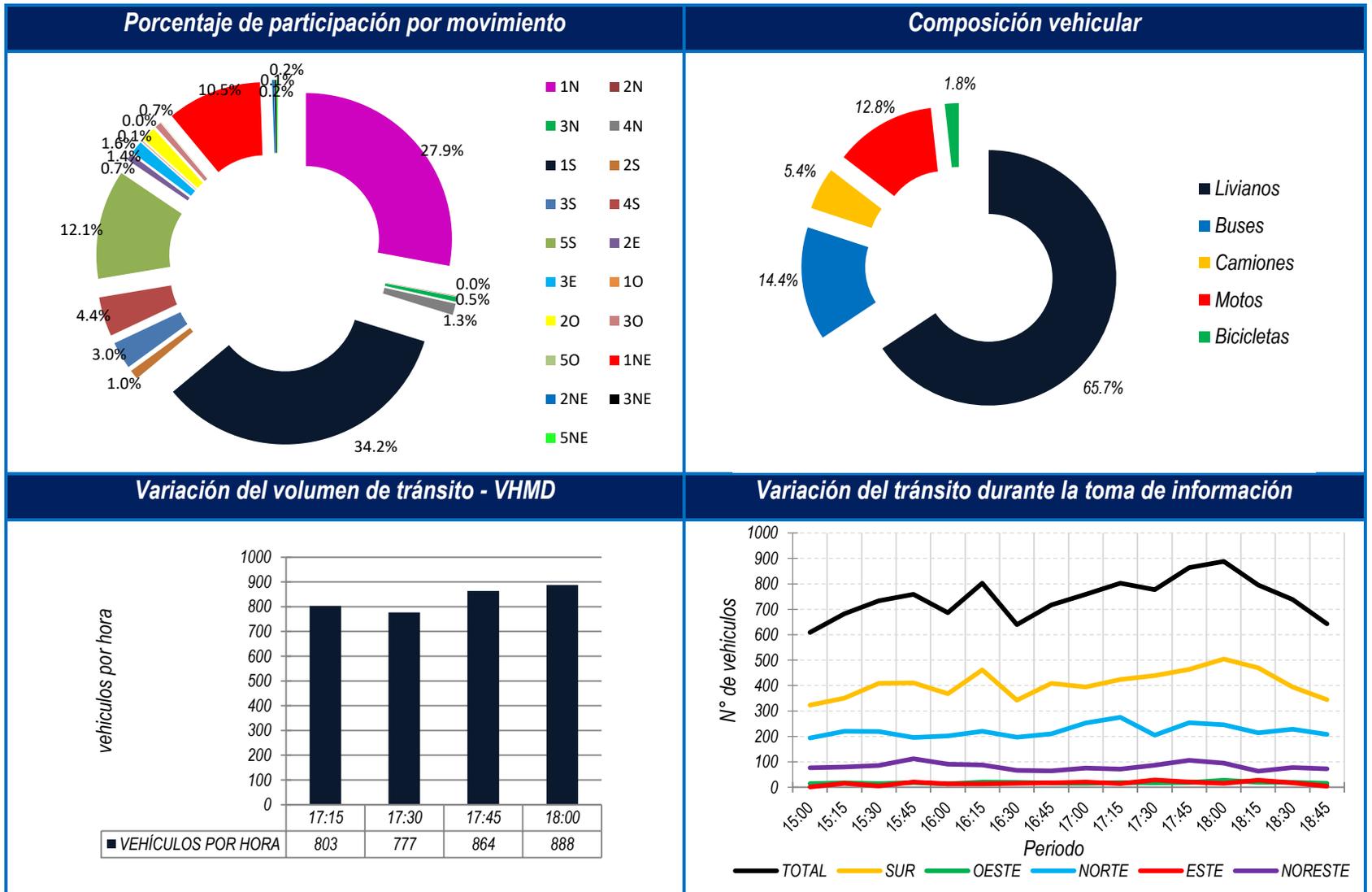
ANEXO A1. VOLUMENES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 37A



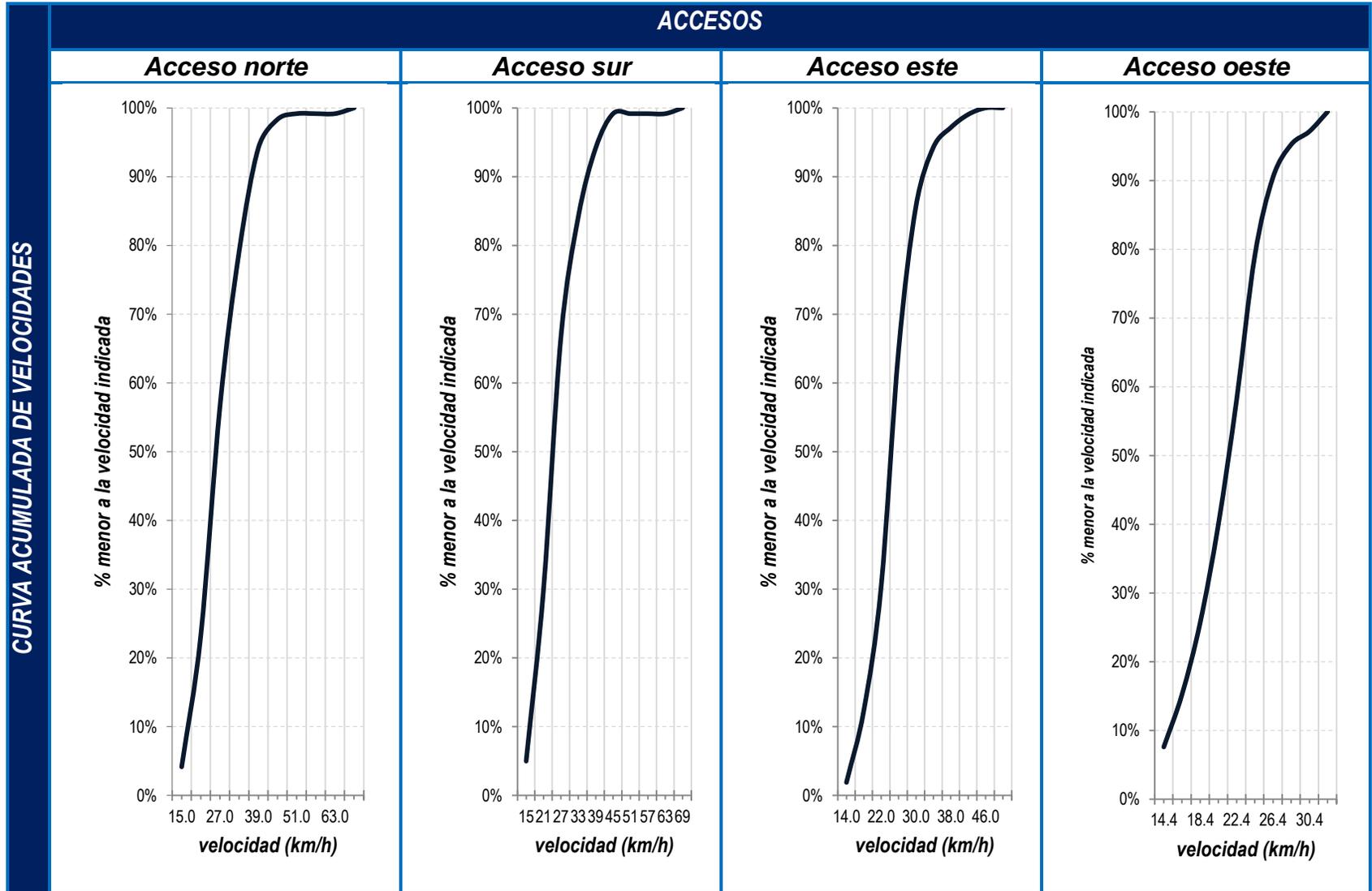
ANEXO A2. VOLUMENES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 48



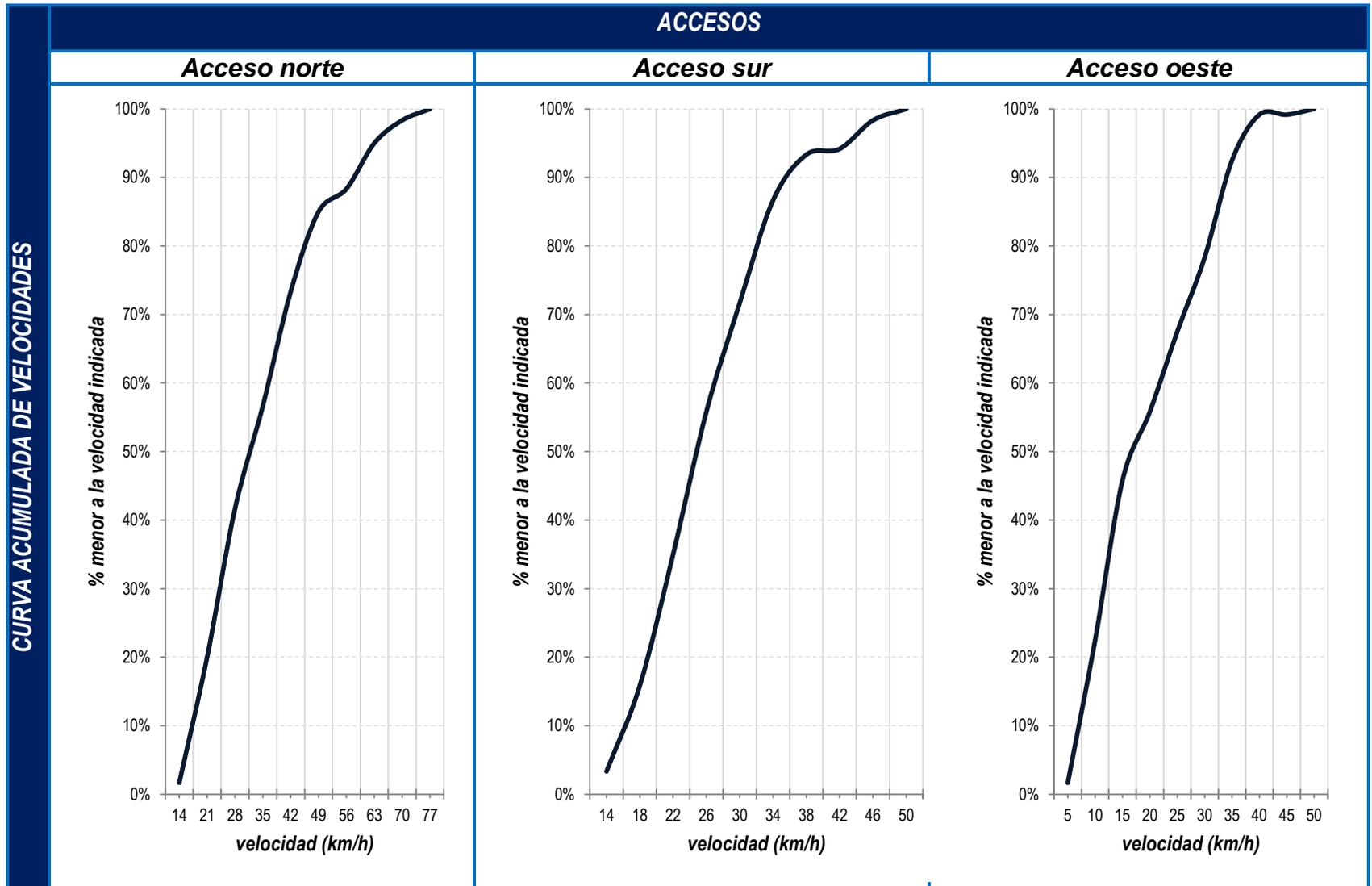
ANEXO A3. VOLUMENES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 53



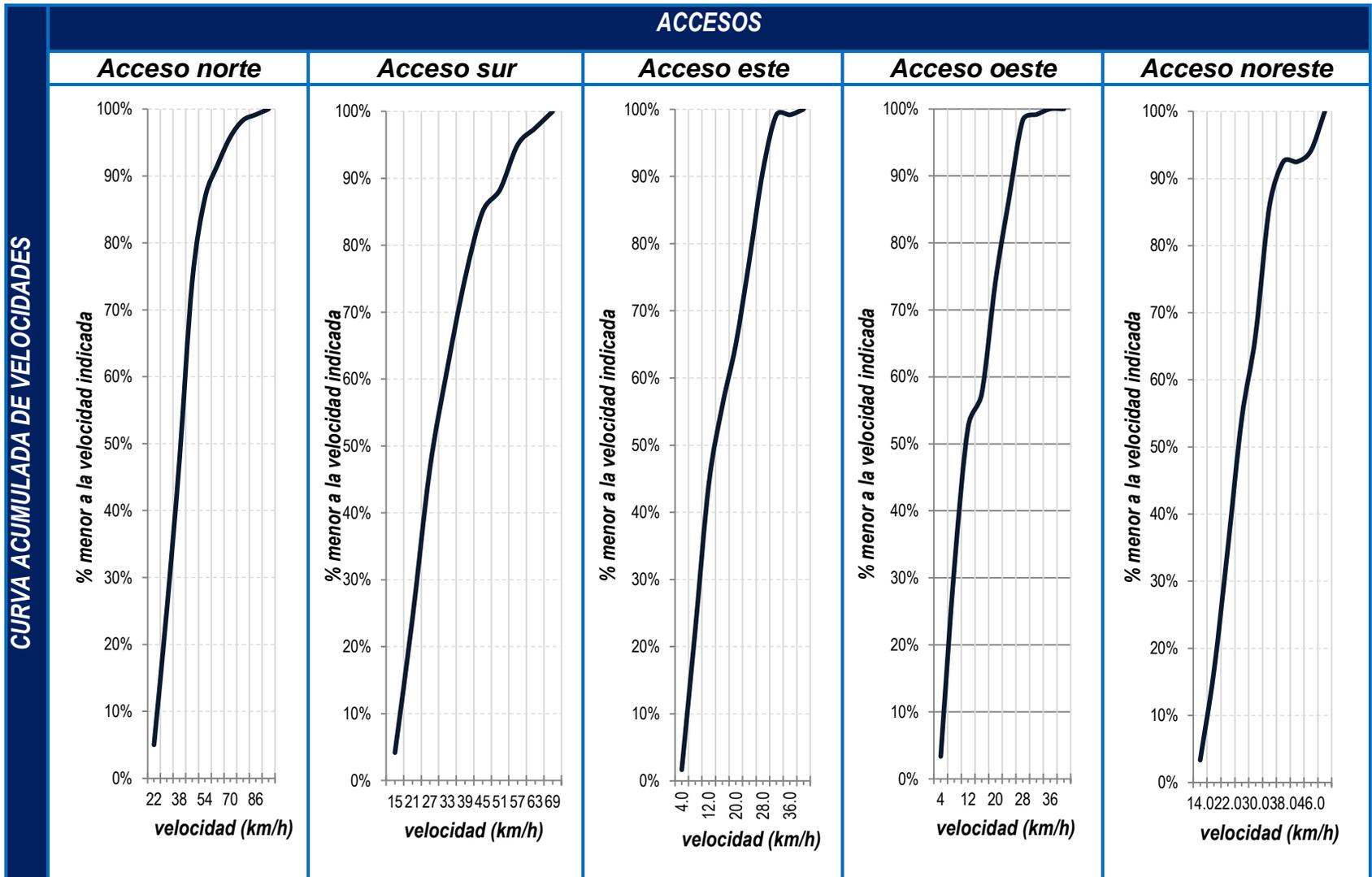
ANEXO B1. VELOCIDADES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 37ª



ANEXO B2. VELOCIDADES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 48

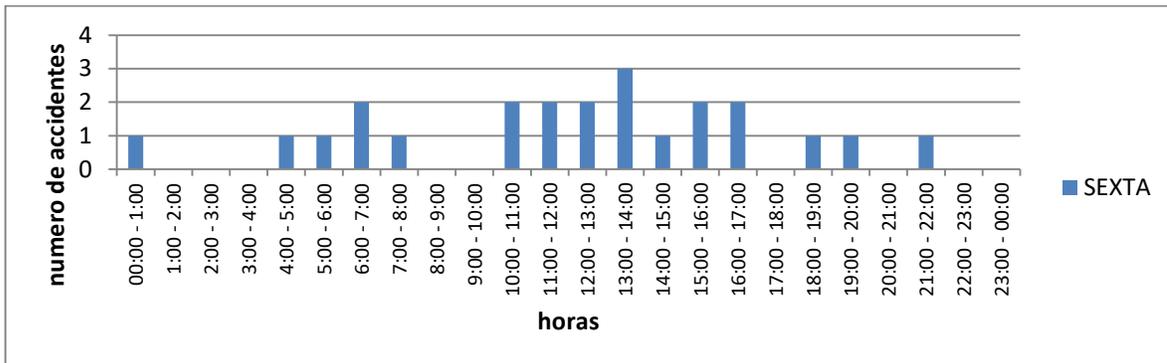


ANEXO B3. VELOCIDADES VEHICULARES – AVENIDA NORTE CON CALLE 53



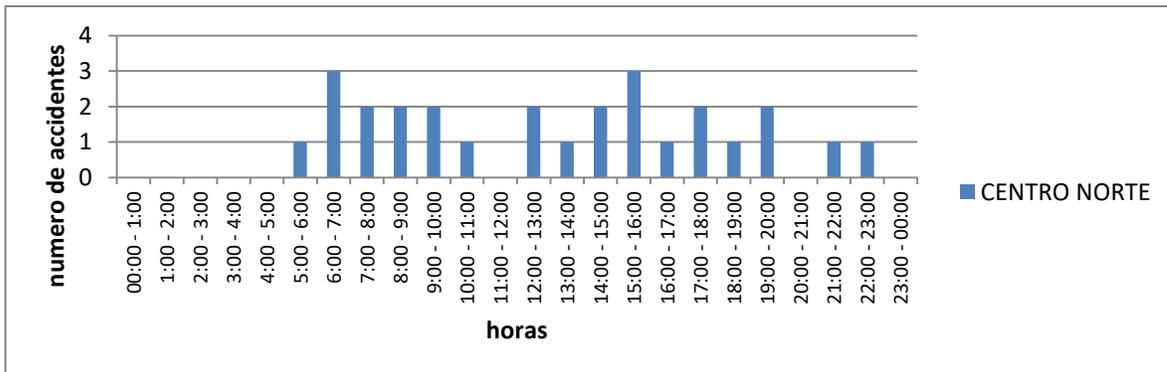
ANEXO F1. VARIACIÓN DE LA ACCIDENTALIDAD POR HORA

Variación de la accidentalidad por hora. Av. Norte con calle 37^a.



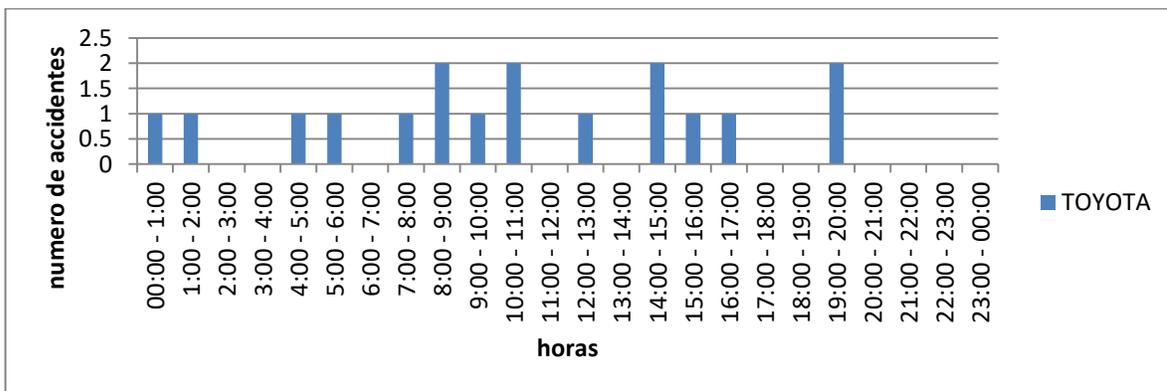
Fuente: Elaboración propia.

Variación de la accidentalidad por hora. Av. Norte con calle 48.



Fuente: Elaboración propia.

Variación de la accidentalidad por hora. Av. Norte con calle 53.



Fuente: Elaboración propia.